

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Е.О. Аристархова

*Інститут агроекології і природокористування НААН*

*Обґрунтовано доцільність удосконалення системи екологічного моніторингу вод (гідро-екомоніторингу). На основі порівняльного аналізу «управлінської» концепції Р.Е. Манна, розвинутої у працях І.П. Герасимова, та «прогностичної» концепції Ю.А. Ізраєля визначено оптимальну формулу моніторингу довкілля «спостереження — контроль — управління». Продемонстровано переваги вказаної формули за проведення моніторингових досліджень вод, що підтверджується багатьма науковими працями, розробками та положеннями, у т.ч. Водною стратегією України на період до 2025 р. Обґрунтовано концептуальний підхід до системи гідроекологічного моніторингу поверхневих джерел водопостачання, сутність якого полягає у швидкому та надійному виявленні нагальних проблем кожної водойми, аналізі їх причин і наслідків та впровадженні заходів з поліпшення якості вод. Запропоновано шляхи удосконалення системи екологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання завдяки підвищенню чутливості методів біомоніторингу та використання автоматизованих засобів досліджень.*

**Ключові слова:** «управлінська» і «прогностична» концепції, поверхневі джерела водопостачання, удосконалення системи екологічного моніторингу вод.

---

Унаслідок значного погіршення останніми десятиліттями стану водного середовища, здатного акумулювати в собі не тільки забруднювальні речовини, що потрапляють безпосередньо у воду, але й ті, що надходять з атмосферного повітря та просочуються з ґрунту, удосконалення системи екологічного моніторингу вод, є особливо актуальним. Ще у 90-х роках минулого століття територію нашої країни за висновками ООН було оголошено «зоною екологічного лиха». Проблема незадовільного стану водних об'єктів досі залишається нерозв'язаною для всіх водних басейнів України. Вода більшості контрольних створів характеризується як помірно забруднена та забруднена (Запольський, Шумигай, 2015).

Нині в Україні не тільки немає поверхневих водойм, які можна віднести до першої категорії з чистою водою, але й існують настільки забруднені, що втратили

здатність до самоочищення (Jakob, Reichmann, 2013; Kienel, Kirillin, Запольський, Шумигай, 2015; Brademann et al., 2015). Насамперед це стосується зарегульованих водних об'єктів, призначених для питного водопостачання. Тому моніторингові дослідження таких водойм повинні бути достатньо дієвими щодо термінового вжиття заходів із запобігання виникненню екологічних проблем та з їх розв'язання. З огляду на це, для підвищення ефективності системи екологічного моніторингу на водоканалах та очисних станціях України доцільно переглянути основну концепцію та чинні методи його проведення.

Мета роботи — теоретично обґрунтувати доцільність удосконалення системи екологічного моніторингу вод поверхневих джерел питного водопостачання.

Вперше поняття екологічного моніторингу було запропоновано у 1971 р. канадським вченим Р.Е. Манном, який тоді виконував обов'язки експерта комісії Наукового комітету з проблем довкілля під час

підготовки до I Міжнародної конференції ООН з навколишнього природного середовища у Стокгольмі. Термін «моніторинг навколишнього природного середовища» був прийнятий як доповнення до поняття «контроль» і використовувався «...для позначення системи повторних спостережень за одним чи кількома елементами довкілля у просторі і часі з певними цілями і відповідно до заздалегідь підготовленої програми» (Munn, 1973). На Стокгольмській конференції було прийнято декларацію з охорони довкілля та управління його станом, а також розроблено рекомендації щодо створення Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (Global Environmental Monitoring Systems – GEMS).

Ідеї Р.Е. Манна та декларацію конференції ООН підтримали тоді і продовжують підтримувати вчені з багатьох країн світу (Вронский, 1996; Фейерклаф, 1977; Bolte, 2007; Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005). У колишньому Радянському Союзі концепція отримала розвиток у працях низки вчених (Федоров, 1975; Єпішин, 1982; Ніканоров, Циркунов, 1989 та ін.). Найбільш оригінальний та обґрунтований варіант концепції моніторингу довкілля запропонував академік І.П. Герасимов (1975), який вважав, що основні складові екологічного моніторингу: спостереження, контроль і управління навколишнім середовищем повинні бути цілеспрямованими, взаємопов'язаними та ефективними (повноцінними). У подальшому концепція розглядалась як «управлінська» і була націлена на виявлення екологічної небезпеки та проведення контролю з метою запобігання їй виникненню чи ліквідації, а також на створення системи екологічно доцільного господарства, на міжнародну співпрацю тощо. Прихильники цієї концепції досі наповняють на необхідності обов'язкового включення до складу екологічного моніторингу ланки «управління» (Водна стратегія України, 2015; Клименко, 2015; River watch, 2015).

Крім того, І.П. Герасимов запропонував розглядати систему екологічного моніторингу як триступеневу ієрархічну драби-

ну з огляду на те, що його слід проводити у різних масштабах, зокрема у глобальному: на 1-ій сходинці – біоекологічний (санітарно-гігієнічний), що ґрунтується на використанні нормативних показників – ГДК, ГДД, ГДР, ТПК тощо; на 2-ій – геоекологічний моніторинг (природно-господарський), що передбачає спостереження за станом природних екосистем і перетворенням їх у природно-технічні; на 3-ій – біосферний (глобальний) моніторинг, що враховує глобальні параметри довкілля з метою оцінки їх впливу на екологічні та еосоціосистеми. Кожен із вказаних типів екологічного моніторингу повинен містити у собі складові, що є властивими для комплексної екомоніторингової системи, у т.ч. керування довкіллям як найважливіший аспект.

Такий поділ екологічного моніторингу на три типи залишається актуальним і на сьогодні, лише з постійним уточненням відповідно до введених інновацій та оновленого інструментарію й обладнання (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005, Водна стратегія України, 2015; Клименко, 2015). Так, під час спостереження за різними компонентами біосфери з успіхом використовуються спеціальні супутники, навігаційні системи, розробляються комп'ютерні автоматизовані програми, створюються електронні бази даних тощо.

Поряд із «управлінською» концепцією екологічного моніторингу Р.Е. Манна та І.П. Герасимова академіком Ю.А. Израелем була розроблена альтернативна концепція, що користувалась значною популярністю у колишньому СРСР і залишилась у спадок Україні. В ній було розвинено натуралістичний, або природно-науковий підхід. Концепція мала кілька фундаментальних положень, серед яких особлива увага приділялась фіксації антропогенних змін навколишнього природного середовища. Вчений наголошував, що моніторингом правильніше називати систему спостережень, завдяки яким можливо виокремити зміни стану біосфери під впливом діяльності людини (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Израель, 1974). Основним блоком

цієї системи було «спостереження – оцінка – прогноз стану природного середовища». Тобто фактично проведення моніторингових досліджень «призупинялось» на етапі прогнозування, а процес управління взагалі відкидався, оскільки автор концепції вважав, що керувати станом довкілля доцільно поза межами системи екологічного моніторингу, тобто моніторинг включає у себе спостереження, оцінку та прогноз стану природного середовища і не потребує управління якістю довкілля і діяльністю людини (Вронский, 1996; Израэль, 1974). За аналогією до «управлінської» концепції, її можна назвати «прогностичною».

Безумовно, у розробку концепції екологічного моніторингу академік Ю.А. Израель зробив значний внесок, зокрема у вирішення питань негативного антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, визначення зворотної реакції екосистем на ті зміни, що відбуваються внаслідок техногенних забруднень, сільськогосподарського використання земель, вирубування лісів, урбанізації тощо. Проте він розглядав екологічний моніторинг лише як звичайне спостереження, подібне до гідрологічного або метеорологічного, а також як підсистему системи моніторингу біосфери (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Израэль, 1974). У подальшому такий підхід себе абсолютно не виправдав. Незважаючи на певні недоліки та невідповідності міжнародним стандартам, у системі Держкомгідромету, яка тоді відповідала за проведення екологічних досліджень, концепцію Ю.А. Израеля було прийнято як провідну.

Останнім часом дослідники, порівнюючи існуючі концепції, притримуються думки, що ефективність моніторингу, не націленого на управління, не може бути високою. Це підтверджено також низькою якістю довкілля в країнах, що знехтували управлінським аспектом у системі моніторингових досліджень (Вронский, 1996; Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005). І хоча подібний моніторинг, на думку Погребенника, Мельника, Бойчука (2005), важко назвати екологічним, нині серед вчених трапляються прихильники обох

концепцій (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Запольський, Войцицький, Пількевич та ін., 2012). Крім того, буває і так, що науковці повністю підтримують «управлінську» концепцію, однак визначення екологічного моніторингу наводять за Ю.А. Израелем.

Поряд із тим теоретичні розробки останніх років та низка досліджень у галузі екологічного моніторингу перекожливо свідчать на користь концепції, запропонованої Р.Е. Манном та І.П. Герасимовим. Принципи цієї концепції були використані під час написання багатьох фундаментальних праць та розроблення підходів, що відображають наукові основи екологічного моніторингу (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Водна стратегія України, 2015; Клименко, 2015; Запольський, Войцицький, Пількевич та ін., 2012; Söderbaum, 2009).

Секретаріат ООН з навколишнього середовища, використовуючи роботи Р.Е. Манна, видав у 1986 р. «Довідник з екологічного моніторингу», що містив низку методик і програм проведення моніторингу довкілля. Особливу увагу у довіднику було приділено дистанційним аерокосмічним засобам моніторингових досліджень (Munn, 1988; Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005).

Керуючись розробленими методиками, ООН через свою Програму з навколишнього середовища (ЮНЕП) субсидував проект «Моніторинг довкілля», що проводився Дослідницьким центром з моніторингу і оцінки Лондонського університету і який сприяв розробці інших подібних проектів (Фейерклаф, 1977; Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005). Нині у Великобританії моніторинг довкілля інформаційно забезпечується системою DESNET, що є мережею отримання даних з визначення стану навколишнього природного середовища. Систему було створено для досягнення відповідних організаційно-управлінських та дослідних цілей (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005).

Моніторинг як метод управління світовою екологічною ситуацією активно використовує також Інститут всесвітнього спостереження (World Watch Institute). Кожна

з екологічних проблем, що розробляється співробітниками інституту, має природничо-науковий, економічний, соціальний, національний та політичний аспекти (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005).

Розгортаючи програми моніторингу, розвинені країни спираються на рекомендації ООН, вироблені спільні рішення у межах міжнародних і регіональних організацій. Так, список комерційних хімічних речовин у країнах Європи включає близько 100 тис. найменувань, декілька тисяч з яких трапляються у річкових басейнах. Однак моніторинговим дослідженням у найважливіших європейських водних екосистемах піддаються лише 30–40 хімічних сполук (Сніжко, 2001). Найбільш сумнівні з них було внесено до так званого «чорного списку», що об'єднує вісім особливо небезпечних речовин. «Сірий список», тобто набір токсикантів, що не мають регіонального значення, кожна держава затверджує самостійно (Сніжко, 2001; Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005).

Аналізуючи характерні риси системи екологічного моніторингу, В.Д. Погребенник, М.М. Мельник, М. Бойчук (2005) наголошують, що останній має забезпечувати ефективність відомих та розроблення нових засобів боротьби із забрудненням, раннє сповіщення про невідомі раніше особливості та форми забруднень, вказувати на альтернативи в управлінні екосистемами. За допомогою моніторингу необхідно визначити проблему, що виникла, оцінити її можливу небезпеку для людини і довкілля, а також своєчасно попередити тих, хто приймає рішення для вироблення подальших дій у вигляді дослідницьких програм і програм практичного моніторингу. Як приклад, науковці наводять чинну систему моніторингу природних вод у Швеції, що розв'язує вісім проблем визначення якості води:

1. Винесення речовин ріками у прибережні моря.
2. Навантаження хімічними речовинами деяких великих озер Швеції.
3. Якість води деяких великих озер.
4. Закисленість ґрунтів під впливом закислених поверхневих вод.

5. Якість води в інтегрованих сферах дослідження.

6. Озера, що зазнали вапнування.

7. Якість води в національних парках.

8. Оцінювання якості води за допомогою супутників.

Кожна з перелічених проблем має свою програму досліджень і спостережень, самостійну організаційну побудову (певні показники і певну періодичність спостережень). Так, програма моніторингу винесення речовин річковими водами у прибережні моря дає змогу контролювати внесок Швеції у забруднення вод Балтійського моря.

Однак серед перелічених європейських програм та проектів немає цілісної концепції екологічного моніторингу для країн, що розвиваються (у т.ч. і для України). Така концепція повинна орієнтуватися на створення екологічного господарства. Тому проблемою залишається практична реалізація у нашій країні повномасштабної комплексної системи моніторингу за Р.Е. Манном та І.П. Герасимовим, оскільки чинна система фактично складається з окремих підсистем моніторингу, що є об'єктами навколишнього природного середовища (вода, повітря, ґрунт), які доволі мало узгоджуються між собою. Зауважимо, що вказана особливість була передбачена концепцією ще під час її створення. Тобто повна формула моніторингу «спостереження — контроль — управління» спочатку повинна реалізуватися частково стосовно найбільш відомих та виявлених за допомогою розробленої методики явищ і стосовно найбільш керованих процесів (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Герасимов, 1975; Munn, 1988). Тому на першій стадії його впровадження слід створювати системи екологічного моніторингу для проведення кожного окремого дослідження середовищ з наступною їх методологічною та метрологічною ув'язкою. Але насамперед необхідно забезпечити інтегрування у комплексну систему екологічного моніторингу кількісних і якісних показників кожного із досліджуваних середовищ (забруднення води та порушення режиму рівнів водою, викиди в атмосферу забруд-

нювальних речовин і виникнення смогів, забруднення та ерозія ґрунту тощо), без якого не буде здійснена об'єктивна оцінка їх стану.

Яскравим прикладом цього є розробка Водної стратегії України на період до 2025 р. (Водна стратегія України, 2015). Згідно із Стратегією, відповідний моніторинг є важливою складовою раціонального водокористування, і його проведення забезпечується низкою суб'єктів: Державним агентством водних ресурсів, регіональними гідрометеорологічною та гідрологічною службами тощо. Крім того, у Стратегії чітко визначено, яким саме вимогам повинна відповідати система моніторингу вод (адаптивність, адекватність, функціональність, перетворюваність (трансформативність), інформативність, відкритість). Значна увага приділяється здатності системи до здійснення управлінських дій з покращання екологічної ситуації та їх перевірки. Отже, для того щоб на належному рівні почала функціонувати комплексна система екологічного моніторингу в Україні, необхідно вирішити питання щодо його проведення за кожним із окремих видів середовищ, у т.ч. екологічного моніторингу вод, або гідроекомоніторингу.

Хоча в Україні здійснюється значна кількість спостережень, у чинній системі моніторингу вод існує низка проблем. Серед основних слід навести такі: технічна відсталість, нестача лабораторного устаткування, доволі значна закритість результатів. Відсутність автоматизованих спостережень на більшій частині території країни унеможливує забезпечення відповідного реагування на небезпеки природного і техногенного характеру. Негативним явищем є зменшення кількості пунктів спостережень і спрощення їх програм (Водна стратегія України, 2015). Вказані проблеми передбачав І.П. Герасимов, який вважав, що якість моніторингу передусім залежать від глибини наукових знань, досконалості методів, рівня наукової теорії та відповідних технічних засобів (Герасимов, 1975).

Так, наприклад, якщо на деяких підприємствах чи в установах, що займаються таки-

ми дослідженнями, є спроби удосконалення системи екологічного моніторингу, у т.ч. за допомогою впровадження автоматизованих спостережень, вони найімовірніше мають характер наукових інновацій, а не є реальним засобом проведення моніторингу в умовах виробництва. Тобто якщо подібні підприємства (наприклад, водоканали та очисні станції) і матимуть програмне забезпечення з автоматизованих систем контролю, однак через брак коштів вони не зможуть придбати дороге обладнання, що є необхідним для функціонування подібних систем (комп'ютери, пристрої формування та введення зображень з мікроскопів тощо).

З огляду на це, для поліпшення стану системи гідроекомоніторингу Стратегією передбачено створення єдиної мережі спостережень, здійснення її оптимізації та модернізації, вдосконалення технічного і метрологічного забезпечення проведення спостережень, інтегрування інформаційних ресурсів суб'єктів системи моніторингу і забезпечення функціонування єдиної автоматизованої підсистеми збирання, оброблення, проведення аналізу і збереження даних. Система моніторингу має бути зорієнтованою на забезпечення державної екологічної політики з питань раціонального використання, охорони і відтворення водних ресурсів та екологічно безпечного функціонування екосистем (Водна стратегія України, 2015).

Отже, чинні системи гідроекомоніторингу потребують істотного удосконалення на всіх організаційних рівнях. Очевидно, створення програм моніторингових досліджень має враховувати особливості кожної водойми, тому система гідроекомоніторингу повинна бути зорієнтована на ті екологічні ризики, що найвірогідніше можуть виникнути під час використання водойми або виникають систематично (перевищення ГДК певних забруднювальних речовин, порушення режиму рівня водойми, заморні явища тощо).

Удосконалення системи екологічного моніторингу водосховищ має особливе значення не тільки для задоволення потреб людей у воді, але й для збереження

їх здоров'я (Bolte, 2007; Водна стратегія України, 2015; Malik, Grohmann, Akhtar, 2014; Söderbaum, Tortajada, 2011; Tortajada, Yug, 2013). З огляду на це, розроблення програм моніторингових досліджень вод джерел питного водопостачання слід проводити надзвичайно скрупульозно. Передусім, відповідно до основної концепції, доцільно обрати підхід, спрямований на підвищення ефективності функціонування моніторингової системи. Зважаючи на сучасні вимоги, основою екологічного моніторингу вод повинні бути інформаційна, аналітична і консалтингова складові (Водна стратегія України, 2015), що, по суті, відповідає «управлінській» концепції. Завданням інформаційної складової є забезпечення належного рівня отримання та обробки інформації, яка надходить, її аналітика — опрацювання та контроль нормативних показників, консалтинг — формування висновків і рекомендацій для здійснення управлінських дій.

Для впливу на ситуацію щодо незадовільного стану водних екосистем, згідно із Законом «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управління водними ресурсами за басейновим принципом» № 1641-VIII від 04.10.2016 р., відповідні організації повинні розробляти плани управління річковими басейнами та забезпечувати їх здійснення, тобто проводити аналіз стану та вжити комплекс заходів із досягнення цілей, визначених для кожного району річкового басейну у встановлені терміни. До того ж такі плани переглядатимуться кожні шість років і будуть реєструвати проблеми, що поступово з'являтимуться внаслідок негативного антропогенного впливу на річкові басейни.

Останнім часом особлива роль щодо отримання інформації у системі екологічного моніторингу вод відводиться біомоніторингу (Погребенник, Мельник, Бойчук, 2005; Водна стратегія України, 2015; Запольський, Войцицький, Пількевич та ін., 2012; Biedunkova, Klimenko, Petruk, 2014). Біологічний моніторинг — це контроль стану водного середовища за допомогою

живих організмів. Основні методи біомоніторингу — біоіндикація та біотестування. Біоіндикація полягає в реєстрації будь-яких змін у біоті, зумовлених антропогенними чинниками або наслідками їх впливу. Біотестування зводиться до встановлення відхилень від нормального фізіологічного стану істот, що використовуються для визначення забруднень води. У біологічному моніторингу можуть бути використані не тільки біологічні, але й будь-які інші методи, наприклад, хімічний аналіз вмісту забруднювальних речовин у живих організмах (Запольський, Войцицький, Пількевич та ін., 2012; Biedunkova, Klimenko, Petruk, 2014).

Однак проведення біомоніторингу вод джерел водопостачання, що передбачає безпосереднє визначення якості питної води, наштовхнулось на низку протиріч. Для здійснення моніторингових досліджень цих вод, що, слід зауважити, є набагато чистішими за інші, було запропоновано використовувати такі самі методи, як і для біомоніторингу стічних та природних вод. Проте організми, які є чутливими до значних забруднень водного середовища, не реагували на рівні токсичності вод, що досягали меж ГДК або незначно їх перевищували. Хоча у СанПіН-10 і залишено можливість щодо використання інших біомоніторів та їх тест-ознак, однак на більшості водоканалів України продовжують використовувати традиційні методи, оскільки саме вони є стандартизованими. Навіть у разі застосування уніфікованих організмів доцільно звернути увагу на їх більш чутливі тест-ознаки (зміни хемотаксису інфузорій, гасіння люмінесцентної продукції метаболітів і частоту серцевих скорочень у дафній, швидкість переміщення протоплазми у клітинах вищих водних рослин тощо).

Деякі протиріччя існують також і в автоматизованих системах біомоніторингових досліджень вод поверхневих джерел водопостачання. І за кордоном, і в нашій країні ці системи можуть забезпечувати спостереження за поодинокими угрупованнями або окремими істотами (Федоров, 1975; Запольський, Войцицький, Пільке-

вич та ін., 2012; Munn, 1988; Biedunkova, Klímenko, Petruk, 2014). Однак на сьогодні бракує єдиного комплексного підходу до надання інформації про загальний стан водної екосистеми. Це, звичайно, негативно відбивається не тільки на аналітичній складовій, але й на «управлінській» ланці біомоніторингу, що своєю чергою знижує ефективність проведення екологічного моніторингу загалом.

Отже, для успішного здійснення екологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання необхідно удосконалити його систему, насамперед завдяки оперативному впровадженню методів біологічного моніторингу, здатних найбільш швидко і надійно реагувати на найменші зміни, що відбуваються у довкіллі, особливо за умов використання автоматизованих засобів спостережень і досліджень.

### **ВИСНОВКИ**

Доведено доцільність удосконалення системи екологічного моніторингу поверх-

невих вод. На основі порівняльного аналізу «управлінської» концепції Р.Е. Манна, розвиненої у працях І.П. Герасимова, та «прогностичної» концепції Ю.А. Ізраєля визначено оптимальну формулу моніторингу довкілля «спостереження — контроль — управління». Продемонстровано переваги вказаної формули порівняно з іншими за проведення моніторингових досліджень поверхневих вод. Обґрунтовано концептуальний підхід до системи гідроекомоніторингу поверхневих джерел водопостачання, сутність якого полягає у швидкому та надійному виявленні нагальних проблем кожної водойми, аналізі їх причин і наслідків та впровадженні заходів з поліпшення якості води за басейновим принципом управління. Запропоновано шляхи удосконалення системи екологічного моніторингу вод поверхневих джерел водопостачання завдяки підвищенню чутливості методів біомоніторингу та використання автоматизованих засобів досліджень.