

УДК 504.06+004.9

Мокін В.Б., Боцула М.П., Горячев Г.В., Мокін Б.І. (Україна, Вінниця),
Антоненко В.Є. (Україна, Слов'янськ), Бабич М.Я., Дезірон О.В. (Україна, Київ)

**РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО
КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТОРОВО-
ОРІЄНТОВАНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДАНИХ**

Як відомо, екологічне управління є дуже актуальною і важливою проблемою сьогодення. Але прийняття оптимальних рішень неможливе без комплексного моніторингу стану всіх складових екосистем та контролю основних джерел їх забруднення.

В Україні існують системи державного моніторингу стану вод, ґрунтів, атмосферного повітря, а також системи обліку та контролю викидів, скидів і відходів. Але ця інформація розрізнена. Моніторингом кожного виду складової довкілля та джерела забруднення займається окрема служба, окремих відділ, дані заносяться в окрему програму.

Під час прийняття управлінських рішень у певному регіоні треба чітко знати який в регіоні стан вод, ґрунтів, які є виробництва, де, що, коли і з якою періодичністю вони скидають, викидають чи розміщують відходи, стан вод у місці скиду та вище і нижче за течію, стан ґрунтів навколо місць видалення відходів, паспортні дані водних об'єктів, скільки і де проживає населення та інше. Ця інформація повинна бути впорядкована та узгоджена, тобто мають використовуватись одні й ті самі показники якості природних і стічних вод, повинні збігатись назви географічних об'єктів, до яких прив'язуються всі об'єкти, повинна бути одна система координат та інше. Усі дані повинні бути взаємопов'язані, щоб була можливість вибирання інформації за різними критеріями з метою аналізу різних сценаріїв розвитку ситуації та можливих наслідків цього.

Для великих міст чи потужних джерел забруднення є чимало подібних систем, розроблених у різний час різними науковими колективами, але всі вони мають хоча б один із наведених нижче недоліків:

- вибрана структура моделей екологічних даних не дає можливості їх постійного оновлення в автоматичному чи автоматизованому режимі за даними регулярного моніторингу стану довкілля та екологічного контролю за викидами, скидами й відходами, котрі здійснюються на загальнодержавному рівні в усіх регіонах країни;

- не відслідковується причинно-наслідковий характер подій — дані про стан довкілля не узгоджені з даними про його забруднювачів, що не дозволяє чітко математично проводити їх детальний аналіз, визначаючи як причини, так і наслідки змін стану довкілля;

- інформація не систематизована, різні дані не співвідносяться з іншими, немає географічної прив'язки місць збирання даних, що значно зменшує можливості для аналізу даних в цілому та наукового обґрунтування прийняття управлінських рішень.

Існують окремі теоретичні рішення, які можуть усунути ці недоліки, але вони не апробовані на практиці на реальних системах загальнодержавного рівня в різних регіонах країни.

Отже, актуальним є розв'язання таких двох проблем:

1. Створення технології (моделей, методів, алгоритмів, прийомів та спеціалізованого забезпечення) для розробки систем комплексного екологічного контролю та управління з урахуванням причинно-наслідкового характеру забруднення довкілля, із систематизацією просторових та інформаційних взаємовідношень між даними та можливістю їх оновлення за даними системного моніторингу довкілля, а також контролю за викидами, скидами й відходами, котрі здійснюються на загальнодержавному рівні в усіх регіонах країни.

2. Розробка на основі створеної технології й впровадження в Україні систем комплексного екологічного контролю та управління з широкими аналітичними можливостями, оперативним оновленням первинних даних та відповідністю основним задачам відповідних екологічних установ та відомств.

Однією з основних проблем на шляху комплексної обробки даних різних інформаційних систем є наявність різних довідників річок з різною топологією (яка в яку впадає і де протікає) та назвами чи редакцією однакових назв [1]:

- довідник річок водного фонду областей, сформований на основі паспортів річок та інших даних;

- довідник річок інформаційної системи державного обліку використання вод 2-ТП «Водгосп»;

- довідник річок інформаційної системи моніторингу якості вод;

- електронні карти геоінформаційних систем різного масштабу.

Розроблено технологію просторово-орієнтованого представлення екологічних даних [1]:

1) моніторинг джерел забруднення проводиться в комплексі зі змінами стану довкілля, що їх вони спричиняють — дані відомчих інформаційних систем моніторингу стану довкілля автоматизовано узгоджуються та поєднуються з даними інформаційних систем обліку джерел забруднення довкілля;

2) основа екосистем — гідрографічна модель — ідентифікується з відповідним внесенням виправлень в географічну карту за даними водного кадастру та основних систем загальнодержавного моніторингу стану довкілля і систем державного обліку джерел його забруднення;

3) усі екологічні та техногенні об'єкти за єдиним підходом прив'язуються до географічних карт;

4) усі дані в системі систематизуються за єдиними підходом та пов'язуються з усіма іншими.

Головним же принципом технології, який і визначає її назву, є те, що всі дані про реальні фізичні об'єкти (річки, водойми, ліси, пости моніторингу, водозабори) прив'язуються до географічної карти, а всі інші дані (місця відбору проб, результати спостережень стану довкілля та ін.) просторово та інформаційно-логічно прив'язуються до них.

Системи, створені на основі цієї технології, інтегрують в собі всю наявну екологічну інформацію про об'єкти довкілля та антропогенний вплив на них, дозволяють виявляти тенденції та причини змін стану довкілля, способи зниження антропогенного навантаження на довкілля, порушення вимог екологічної безпеки та винуватців цього, виробляти оптимальні рішення з інтегрованого управління станом довкілля та ін [1-12].

Створення та впровадження таких систем відповідає загальноєвропейським та світовим підходам до екологічного управління, а тому це значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища.

Дослідження, результати яких викладені в роботі, здійснювались в межах проектів екологічних програм ООН (UNEP), ОБСЄ, ЮНЕСКО та в межах 25 науково-дослідних робіт міністерств і відомств України (як на правах генерального підрядника, так і субпідрядника чи у статусі експертів Єврокомісії від України) [1-12]:

- ООН (UNEP), ОБСЄ, ЮНЕСКО: для Дністра: «Transboundary cooperation and sustainable management in the Dniester river basin: Implementation of the Action Plan (Dniester III)» (Region/Countries: Moldova, Ukraine; 2007-2010, «Lead organisation: UNECE, OSCE, UNEP with Environmental, Water, Hydrometeorology, Health care / Sanitary authorities, research institutes, NGOs»); для Тиси: INTERREG ІІІВ CADSES/TACIS "Покращення системи управління паводками - МОЗЕС"; для Прип'яті: TACIS "Transboundary River Basin Management. Phase 2: For Pripjat River"; для Сіверського Дінця: TACIS "Transboundary River Basin Management. Phase 2: Seversky Donets Basin";

- Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації (ДР) 0197U012588; № ДР 0100U002936; № ДР 0102U002262; № ДР 0105U002428; № ДР 0108U000654);

- Державного комітету по водному господарству України (№ ДР 0105U006684; № ДР 0107U005997, № ДР 0107U011807; № ДР 0108U008125, № ДР 0108U009137, № ДР 0108U009138);

- Державної екологічної інспекції Міністерства охорони навколишнього природного середовища України (Мінприроди) (№ ДР 0105U008854; № ДР 0107U008338, № ДР 0107U012438; № ДР 0108U011047);

- регіональних відомств та підприємств (держуправлінь охорони навколишнього природного середовища Мінприроди у Вінницькій та у Донецькій областях, Вінницької облсанепідемстанції та ін.) (№ ДР 0103U007941; № ДР 0104U007756, № ДР 0104U007757; № ДР 0105U002724, ДР 0105U006683; № ДР 0105U006685; № ДР 0106U002996, № ДР 0106U011772; № ДР 0107U012437; № ДР 0108U011046 та ін.).

В результаті проведених досліджень отримано такі нові наукові результати:

1. Розроблено нову технологію розробки систем екологічного контролю та управління, яка, завдяки використанню оригінальних моделей просторово-орієнтованого представлення екологічних даних та методів їх ідентифікації, дозволяє будувати системи, котрі вперше і комплексно враховують причинно-наслідковий характер забруднення довкілля, і систематизують просторові та інформаційні

взаємовідношення між даними, і мають можливість їх оновлення за даними системного моніторингу довкілля та контролю за викидами, скидами й відходами, котрі здійснюються на загальнодержавному рівні в усіх регіонах країни.

2. Запропоновано нову формалізацію геоінформаційних моделей ключових класів об'єктів та суб'єктів системи державного моніторингу поверхневих вод: річкових систем та їх складових, суб'єктів водокористування, створів і пунктів гідроекологічних спостережень, адміністративних та басейнових утворень з урахуванням їх ієрархії, а також до систематизовано методи їх ідентифікації. Кожна модель містить взаємопов'язані інформаційну та просторову складові. Розроблені моделі та підходи і методи їх ідентифікації є універсальними. Охарактеризовано яким чином створені моделі можуть бути адаптовані до інших складових довкілля та джерел їх забруднення.

3. Вперше побудовано модель структури автоматизованої системи державного моніторингу поверхневих вод, оптимальну на множині моделей обласних систем за критерієм мінімуму кількості класів ключових об'єктів та зв'язків між ними. Оптимізація проведена з урахуванням деяких спрощень, характерних для обласного державного моніторингу поверхневих вод, та з використанням кодифікаторів адміністративних та басейнових утворень, які широко використовуються у державній системі обліку водокористування України 2-ТП "Водгосп".

4. Розроблено новий метод проектування інформаційної системи спостереження стану довкілля на прикладі системи спостереження якості вод, який на відміну від існуючих, дозволяє проектувати структуру системи обробки даних спостереження по формах вхідних та вихідних даних стандартизованого типу шляхом ідентифікації та ітеративної деталізації структури та функцій підсистем, що виконують операції з вхідними, вихідними та довідковими даними.

5. Дістала подальший розвиток формалізація класів системи обробки даних спостереження якості вод, за рахунок формування та уточнення типових моделей класів різних аспектів функціонування та призначення системи: моделі об'єктів, моделі суб'єктів, моделі методичного (метрологічного) забезпечення спостереження якості вод, моделі технічного забезпечення, моделі інформаційного забезпечення. Створений комплекс моделей прискорює та стандартизує процес проектування систем екологічного моніторингу та контролю і може бути використаний для синтезу структури й систем обробки даних спостереження іншого типу.

6. Розроблено новий метод автоматизованого налагодження складних звітів систем екологічного моніторингу та контролю, який, на відміну від існуючих, дозволяє відслідковувати всі можливі взаємозв'язки між даними та швидко будувати відповідні звіти за довільними критеріями, не вимагаючи від користувача знань мови SQL. Метод побудований на основі проведення аналогії із секвенційним апаратом синтезу систем управління та його підходом до формалізації й оптимізації зв'язків між вхідними та вихідними даними.

7. Систематизовано всі можливі в Україні варіанти схем відбору проб викидів, скидів та відходів разом із параметрами атмосферного повітря, вод і ґрунту, відповідно, які дозволяють дослідити всі важливі аспекти та параметри впливу джерел забруднення на навколишнє природне середовище.

8. Розроблено два нові методи ідентифікації паспортних параметрів природних об'єктів, які базуються на нечітких експертних оцінках, а саме: метод "один об'єкт — один експерт" та метод синхронізації інтервалів значень, коли кожний експерт проводить оцінювання на своєму інтервалі значень параметрів. Методи дозволяють швидко збирати та оновлювати паспортні дані про природні об'єкти, необхідні для розв'язання задач моделювання, прогнозування та управління.

9. Розроблено нову методологію побудови математичних моделей для оцінювання якості поверхневих вод у часі й просторі в розгалужених річкових системах. На основі цієї методології побудовано математичні моделі змін якості води малих та середніх річок, які вперше дозволили розрахувати якість води і в найбільш, і в найменш забруднених частинах річкового потоку у розгалуженій річковій системі після надходження до неї з багатьох входів просторово-зосереджених стічних чи зворотних вод або вод природного живлення, використовуючи як складові відомі математичні моделі річкових самоочисних процесів та процесів розбавлення та вимагаючи мінімуму даних для ідентифікації моделі. Це відкриває можливості моделювання змін стану поверхневих вод за даними регулярного державного моніторингу, які швидко адаптуються під регіональні особливості водних об'єктів.

10. Розроблено робастний метод контролю й оцінювання параметрів незареєстрованих стічних чи приточних вод, який вперше дозволив знайти і місце розташування, і значення показників

якості, і витрати цих вод з використанням розроблених математичних моделей для опису процесів забруднення і самоочищення річок.

11. Розроблено нову технологію інтегрування математичних моделей природних процесів з ГІС екосистем. Вперше розроблено математичні співвідношення для параметрів математичних моделей, баз даних з екологічною інформацією та даних ГІС за єдиним підходом, оснований на проведеній аналогії між способами представлення даних в математичних та геоінформаційних моделях. Це дасть можливість більш ефективно використовувати розвинений апарат математичного моделювання та прогнозування природних процесів на накопичені просторово-орієнтовані банки екологічних даних.

12. Розроблено теоретичні та практичні основи формалізації методу пошуку різноформатної екологічної інформації на основі онтологічної бази даних. Запропоновано універсальний підхід до формалізації та структурування текстової, числової та картографічної інформації, що дасть можливість швидко знаходити та аналізувати усю наявну інформацію в електронному вигляді про заданий об'єкт довкілля чи джерело його забруднення.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Створена технологія просторово-орієнтованого представлення екологічних даних в системах державного екологічного моніторингу та контролю дозволяє забезпечити комплексність врахування та аналізу причин та наслідків забруднення стану довкілля, оперативність оновлення в автоматизованому режимі інформації за даними моніторингу довкілля та контролю за викидами, скидами й відходами, який системно ведеться в усіх регіонах країни, та широкі засоби аналізу та підтримки прийняття рішень з управління природними ресурсами та охорони навколишнього природного середовища. Простота встановлення, експлуатації, висока автоматизація обробки даних та інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень приводить до значної економії робочого часу працівників.

2. Розроблений комплекс методів та алгоритмів для проектування автоматизованих систем обробки даних екологічного моніторингу та контролю забезпечує їх швидке проектування, максимальне врахування та чітку формалізацію досвіду фахівців, набутого в ручному режимі проведення цих операцій, систематизацію та узгодження усіх даних, гнучкість структури до змін у законодавстві України та нормативно-методичній базі, швидкодію та зручність у використанні систем для кінцевих користувачів.

3. Створено та впроваджено у підрозділах Держводгоспу та Мінприроди України комплекс систем управління водними ресурсами басейнів великих та середніх річок України: Дністер, Південний Буг, Сіверський Донець, Прип'ять, Тиса, Кальміус.

4. Розроблено єдину автоматизовану систему Державної екологічної інспекції та спеціальних підрозділів Мінприроди України з отриманням результатів вимірювань стану забруднення довкілля, викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналізування, яка впроваджена в АР Крим, областях та великих містах України.

5. Створені методи автоматизованої обробки даних дозволяють забезпечити базове наповнення систем екологічного моніторингу та контролю інформацією з різних відомчих систем та географічних карт, а також даними експертних оцінок, які можуть використовуватись у розрахунках у першому наближенні.

6. Розроблено комплекс методів моделювання та обробки даних, який дозволяє вирішувати актуальні задачі прогнозування змін стану довкілля та прийняття управлінських рішень, використовуючи для ідентифікації дані створених авторських систем екологічного моніторингу та контролю.

7. Створені просторово-орієнтовані системи з комплексним доступом до усіх даних дозволяють системно виявляти порушників чинного природоохоронного законодавства, які здійснюють наднормативне забруднення стану довкілля.

Результати роботи, пройшли апробацію на майже 100 наукових конгресах, симпозиумах, конференціях та семінарах в Україні та закордоном (США, Австрія, Угорщина, Польща).

Всього за тематикою дослідження опубліковано майже 200 наукових праць, у т.ч. 3 монографії, 70 статей та матеріалів конференцій. Зареєстровано у Державному департаменті інтелектуальної власності України авторське право на 24 комп'ютерні програми та бази даних. Опубліковано 9 методичних посібників з описом створених систем та методичних рекомендацій щодо їх більш ефективного використання на практиці.

Створені системи не обмежуються лише територією України — більшість з них створена для трансграничних басейнів річок країни (Тиса, Прип'ять, Сіверський Донець, Дністер, річки басейну Висла, які протікають у Львівській області). Проблемою управління цими річками займаються відповідні управління Євросоюзу (Польща, Словаччина, Угорщина, Румунія), Російська Федерація, Білорусь, Молдова. Забруднення ґрунтів та, особливо, атмосферного повітря також не є проблемою лише однієї держави, воно теж має трансграничний характер.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / В.Б. Мокін, М.П. Боцула, Г.В. Горячев та ін. / Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця: Вид-во ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. — 315 с.
2. Мокін В.Б., Мокін Б.І. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод: Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000.— 152 с.
3. Мокін В.Б. Математичні моделі для контролю та управління якістю річкових вод. Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.— 172 с.
4. Геоінформаційна аналітична система державного моніторингу довкілля Вінницької області. Ч.І. Моніторинг поверхневих вод. — Методичний посібник / Під ред. В.Б. Мокіна та О.Г. Яворської / В.Б. Мокін, М.П. Боцула та ін. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 79 с.
5. Система підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління станом вод басейну річки Дністер з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Бабич М. Я., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 252 с.
6. Система підтримки прийняття рішень з моніторингу та управління водними ресурсами Львівської області. — Методичний посібник / Мокін В.Б., Мокін Б. І., Бабич М. Я., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В.Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 236 с.
7. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Прип'ять з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Дезірон О. В., Бабич М. Я., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 236 с.
8. Система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій. — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Дезірон О. В., Бабич М. Я., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 244 с.
9. Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Сіверський Донець з використанням геоінформаційних технологій.— Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Бабич М. Я., Антоненко В. Є., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 352 с.
10. Геоінформаційна аналітична система моніторингу якості і використання водних ресурсів та стану водогосподарських об'єктів річки Тиса у Закарпатській області. — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Боцула М. П. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 228 с.
11. Геоінформаційна система каталогу-класифікатору з паспортними даними та даними моніторингу стану водних об'єктів р. Кальміус. — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Антоненко В. Є., Боцула М. П., Горячев Г. В. та ін. // Під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 284 с.
12. Автоматизована система екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля України та викидів, скидів і відходів „ЕкоІнспектор” — Методичний посібник / Мокін В. Б., Мокін Б. І., Горячев Г. В., Боцула М. П. та ін. // Під ред. Г. В. Горячева. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 193 с.