

УДК 504.4.054+504.06+556

Є.С. Анпілова¹, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник;

В.І. Клименко¹, канд. техн. наук, вчений секретар, старш. наук. співробітник;

Д.Л. Крета², асистент кафедри;

О.М. Трофимчук¹, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ;

²Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД І ҐРУНТІВ ЗАСОБАМИ ДЗЗ ТА ГІС

У цій статті запропоновано методи, що дозволяють виявляти закономірності зміни якості поверхневих вод та ґрунтів, зокрема визначати місця підвищеної концентрації забруднюючих речовин, що впливають на їхній екологічний стан, будувати картографічні моделі на основі використання можливостей геоінформаційних систем та матеріалів космічної зйомки.

Ключові слова: якість ґрунтів, якість поверхневих вод, оцінка якості поверхневих вод, оцінка якості ґрунтів, басейн річки, геоінформаційні технології, дистанційне зондування Землі, екологічний моніторинг, забруднення поверхневих вод, забруднення ґрунтів.

Однією з найбільш важливих складових моніторингу будь-якого об'єкта є визначення ступеня забрудненості цього об'єкта. Оперативна та точна інформація щодо якості водних об'єктів та ґрунтів є основою регулювання діяльності водокористувачів та землекористувачів, забезпечення заходів з раціонального природокористування, інформування відповідних органів та населення щодо можливих небезпечних ситуацій.

Поверхневі води, як і земельні господарства є стратегічними відновлюваними природними ресурсами України. Характерною ознакою більшості поверхневих водних об'єктів та земельних угідь України є їх комплексне використання. При цьому кожна галузь – гідроенергетика, рибне господарство, промисловість, рекреація тощо має свої вимоги до якості як поверхневих вод, так і ґрунтів. Ця обставина ускладнює вирішення проблеми їх моніторингу, оцінювання та прогнозу якості, з метою охорони і раціонального використання, яка була, є і буде актуальною в майбутньому.

Картографічне моделювання та геоінформаційний інструментарій дозволяє не тільки відображувати вже відомі просторові закономірності, але й проводити аналіз, виявляти та візуалізувати взаємозв'язки між джерелами забруднення та якістю ґрунтів та вод, визначати достовірність інформації щодо джерел забруднення, виконувати районування за факторами їх забрудненості та якістю, у тому числі, в умовах недостатньої кількості даних.

У статті наведено приклади застосування ДЗЗ та ГІС технологій для оцінок забрудненості земель техногенним пилом із зосереджених джерел викидів в атмосферу та якості поверхневих вод басейну річки.

Проблемами техногенного навантаження на навколишнє природне середовище та дослідженням у цьому напрямку з використанням геоінформаційних систем і технологій дистанційного зондування Землі займаються Варламов Є.М., Волошкіна О.С., Готинян В.С., Довгий С.О., Коротаєв Г.К., Красовський Г.Я., Лялько В.І., Макаровський Є.Л., Мокін В.Б., Осадчий В.І., Попов М.О., Трофимчук О.М., Яковлев Є.О. та інші.

Проаналізувавши сучасну організацію державного моніторингу якісних показників земельних ресурсів, було обґрунтовано доцільність залучення технологій дистанційного зондування Землі з космосу.

Здійснюючи дешифрування космічних знімків для виявлення техногенного забруднення земель, найбільш доцільним є використання ознак, пов'язаних з варіаціями альbedo снігового покриву. В ряді багатьох чинників, що впливають на них, домінуючим є вміст акумульованого снігом техногенного пилу, який осаджується з атмосфери. Для картографування ареалів, в яких цей вміст перевищує фоновий рівень, залучались програмний комплекс ERDAS IMAGINE від Leica Geosystems GIS & Mapping і спеціалізована програма IMPROC. Засобами ERDAS IMAGINE виконувались окремі етапи первинної обробки космічних знімків, а також визначались межі кластерів «ліс» і «забудована територія» – об'єкти, що маскують межі зон забруднення снігового покриву. Оконтурування останніх виконувалось алгоритмом програми IMPROC, який забезпечував реалізацію наступних етапів:

- формування доповнюючої структурної дешифрувальної ознаки;
- побудови двовимірної гістограми у просторі «яскравість-структурна ознака»;
- побудови розпізнаючого правила.

Доповнюючою структурною дешифрувальною ознакою була обрана величина модуля градієнта яскравості – G , яка визначалася шляхом просторового диференціювання, тобто обчисленням похідних $\frac{\partial F}{\partial x}$ та $\frac{\partial F}{\partial y}$, де F – яскравість зображення, застосуванням згортки з масками оператора Собела H_x та H_y :

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad H_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

$$G = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2}.$$

Модуль градієнта G обчислюється як

Було зроблене припущення, що для лісу величина G повинна бути нижче, ніж для забрудненого снігу, так як у межах лісних масивів яскравість зображення змінюється лише внаслідок флуктуацій, а в межах ділянок забрудненого снігового покриву повинно

спостерігатися збільшення яскравості за ступенем віддалення від джерела забруднення до периферії забруднення.

Побудова двовимірної гістограми – необов'язковий етап. Однак його виконання дозволяє наглядно оцінити, наскільки вдало вибрана доповнююча дешифрувальна ознака та сформулювати розпізнаюче правило або задати початкове наближення для розпізнавальної функції.

Використовуючи описані вище інформаційні ресурси і програмно-алгоритмічні засоби, в деяких районах території Київської області були ідентифіковані топографічні параметри ділянок снігового покриву з аномальними рівнями альbedo. Кожен знімок засобами ГІС проектувався з вирівнюванням масштабів на відповідну ділянку електронної карти України, що давало змогу визначати реальні контури урбанізованих територій і лісових масивів як чинників, що маскують забруднення снігу техногенним пилом, а також географічні або прямокутні координати контурів ідентифікованих ареалів забруднення снігового покриву.

Виходячи з того, що основний вклад в загальну кількість викидів від стаціонарних джерел підприємств Київської області вносить Трипільська ТЕС, викиди якої в 2004 р. склали 59,327 тис. тонн, або 75,2% від загального обсягу викидів стаціонарними джерелами, вона була визначена тест-об'єктом для досліджень можливостей використання космічних знімків у завданнях моніторингу забруднення атмосфери стаціонарними джерелами викидів.

Для визначення розмірів зони забруднення приземного шару атмосфери техногенним пилом Трипільської ТЕС залучались космічні знімки ASTER, SPOT, LANDSAT центральних районів Київської області за 2002–2005 роки, а також MODIS та NOAA, отримані в реальному вимірі часу в терміни січень – квітень 2005 року.

Всі космічні знімки, які використовувалися для ідентифікації параметрів зон впливу викидів в атмосферу Трипільської ТЕС, трансформувалися в картографічну проекцію електронної топографічної карти Київської області М 1:200 000, яка підтримується засобами геоінформаційної системи ARG/VIEW. Оскільки залучені космічні знімки були отримані при випадковій вибірці напрямів та швидкостей вітру, за ними визначалася середня віддаленість від джерела викидів меж, де концентрація техногенного пилу приблизно зрівнюється з фоном. Для Трипільської ТЕС, складу та об'ємів її викидів в атмосферу це віддалення в середньому складає 20 км. В припущенні рівномірного за напрямками розсіювання викидів в атмосфері площа забруднення земель техногенним пилом сягала б близько 1260 км². Виходячи з оцінки валових викидів пилу в середньому за рік порядку 40 000 т, отримуємо, що в цьому випадку на 1 км² земель тільки з викидів Трипільської ТЕС осідало б близько 32 тонн техногенного пилу. Відомо, що викиди станції за напрямками розсіюються нерівномірно. Так, при фіксованому напрямі вітру, як свідчать космічні знімки високої просторової роздільної здатності, техногенний пил Трипільської ТЕС зазвичай осідає в секторі, який складає 1/8 кола, тобто на площу приблизно 157 км². Виходячи з добової норми викидів пилу в 2004 році – близько 110 т, а також кількості діб в календарному році з певним напрямком переносу викидів, наприклад, у північному – 64 доби, отримуємо, що річна норма навантаження викидами Трипільської ТЕС 1 км² земель в секторі 67.5⁰–112.5⁰ складає близько 45 тонн [2].

Скориставшись статистичними даними напрямку вітру, а також ураховуючи параметри димових шлейфів, що отримані шляхом дешифрування випадкового набору космічних знімків високої просторової роздільної здатності, нескладно отримати прогнозні оцінки навантаження земель техногенним пилом у довільному секторі навкруги Трипільської ТЕС.

Результати картографування ареалів забруднення снігу та ідентифікації димових шлейфів на випадкових наборах космічних знімків дають підстави очікувати сезонні ареали забруднення земель пилом з викидів Трипільської ТЕС. Ареал з позначкою I формується з вересня по травень, а з позначкою II – впродовж осені, зими та весни (рис. 1). Наявність “острівця чистої території” в безпосередній близькості від самої ТЕС обумовлена закономірностями осадження в атмосфері з висоти 180 м твердих часточок. Скориставшись стандартними засобами ГІС, в даному випадку Arc/View, нескладно визначити, що влітку викиди Трипільської ТЕС сприяють забрудненню приблизно 500 км² території Київської області, а в решту сезонів – 600 км² [3].

Таким чином, використовуючи дані параметру вітрів, склад та обсяги викидів ТЕС, отримали картографічні моделі кількісних оцінок навантаження техногенним пилом земель навкруги забруднюючих об’єктів.

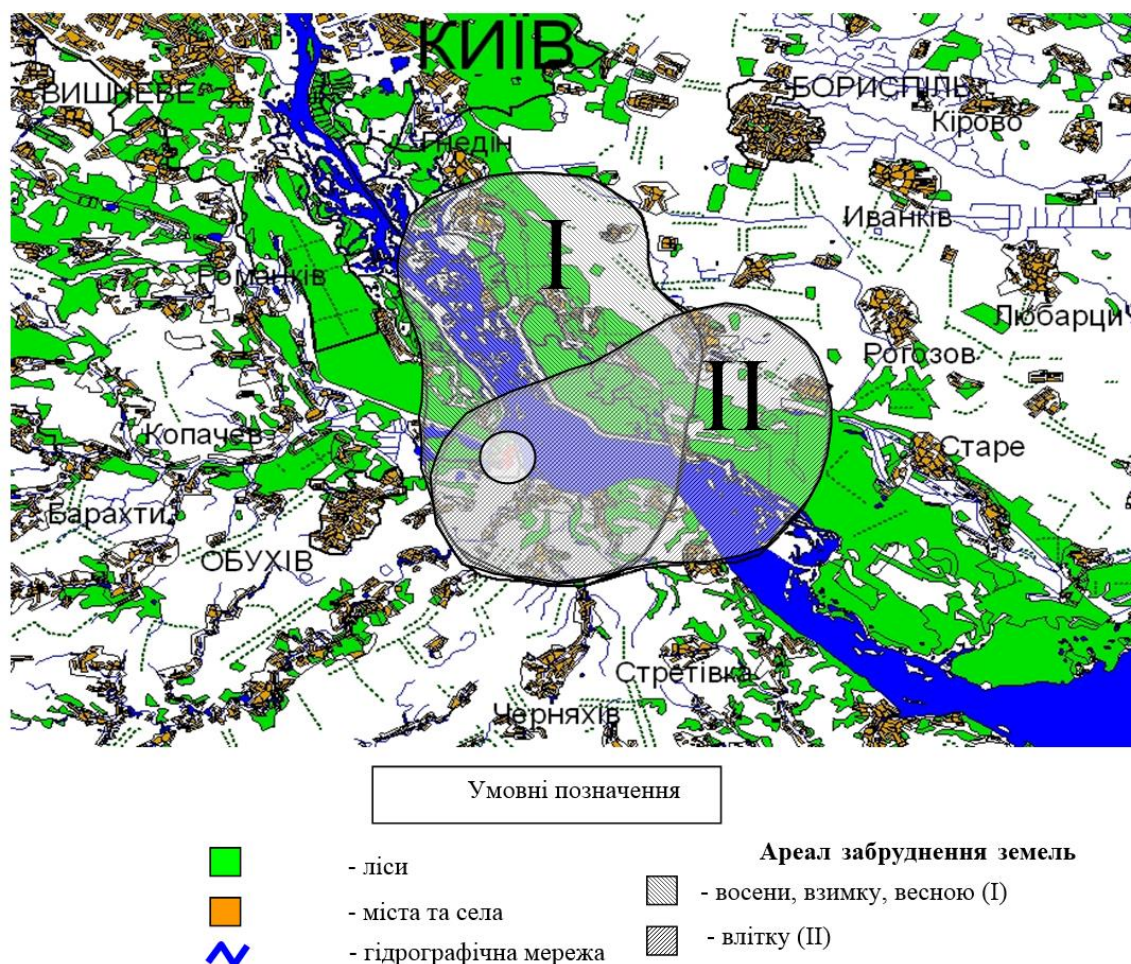


Рис. 1 – Сезонні ареали забруднення земель техногенним пилом з викидів Трипільської ТЕС

Для доповнення картографічної моделі були виконані математичні розрахунки по розподілу концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, застосовуючи методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, з яких складаються викиди підприємств, що розроблена Головною геофізичною обсерваторією ім. А.І. Воєйкова [4].

Для підтвердження достовірності результатів вищерозробленої моделі використано результати лабораторних досліджень проб атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС. Лабораторні дослідження проводилися в 2004 році на вміст пилу, сірчистого ангідриду, двоокису азоту та оксиду вуглецю [5]. Проби відбиралися на відстані 600 м, 3600 м та 7200 м за різними напрямками від джерела забруднення.

Поєднуючи три шари даних: відстані формування максимальних приземних концентрацій для Трипільської ТЕС, отриманих застосуванням методики розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, розробленою ГГО ім. Воєйкова; результати лабораторних досліджень проб атмосферного повітря в зоні впливу Трипільської ТЕС та ареал забруднення земель техногенним пилом, отриманих при застосуванні розробленої картографічної моделі, отримали, що результати за картографічною моделлю співпадають з результатами за існуючими методиками проведення спостережень за ґрунтами, а також доповнюють їх можливістю отримання більш повних розширених даних, з використанням менших затрат (рис. 2).

Далі розглянемо проблеми оцінювання якості поверхневих вод.

В Україні низка пріоритетних завдань держави щодо збереження водних ресурсів обумовлена Концепцією розвитку водного господарства [5].

За статистичними даними [6–10], спостерігається стала тенденція погіршення якості поверхневих вод басейнів річок України. Для інформаційної підтримки рішень щодо забезпечення виконання вимог ряду інших законодавчих актів [11], регулюючих сучасні водні відносини в Україні, необхідно мати достовірні, точні і своєчасні дані про якість поверхневих вод.

Нижче розглянемо новий метод оцінки якості поверхневих вод, що відрізняється від існуючих використанням геостатистичних методів інтерполяції даних моніторингу та удосконаленим методом обробки даних про якість за класами та категоріями, що дозволяє покращити ведення екологічного моніторингу поверхневих вод. Виявлено закономірності зміни якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець, зокрема визначено місця підвищеної концентрації речовин, які впливають на екологічний стан басейну річки.

Картографічне моделювання, здійснене на основі геоінформаційного інструментарію, дозволяє не тільки відображати вже відомі просторові закономірності, але й проводити аналіз, виявляти та візуалізувати взаємозв'язки між джерелами забруднення та якістю води, визначати достовірність інформації за джерелами забруднення, виконувати районування за факторами забруднення та якістю поверхневих вод, зокрема при недостатньому обсязі гідрохімічних даних [12].

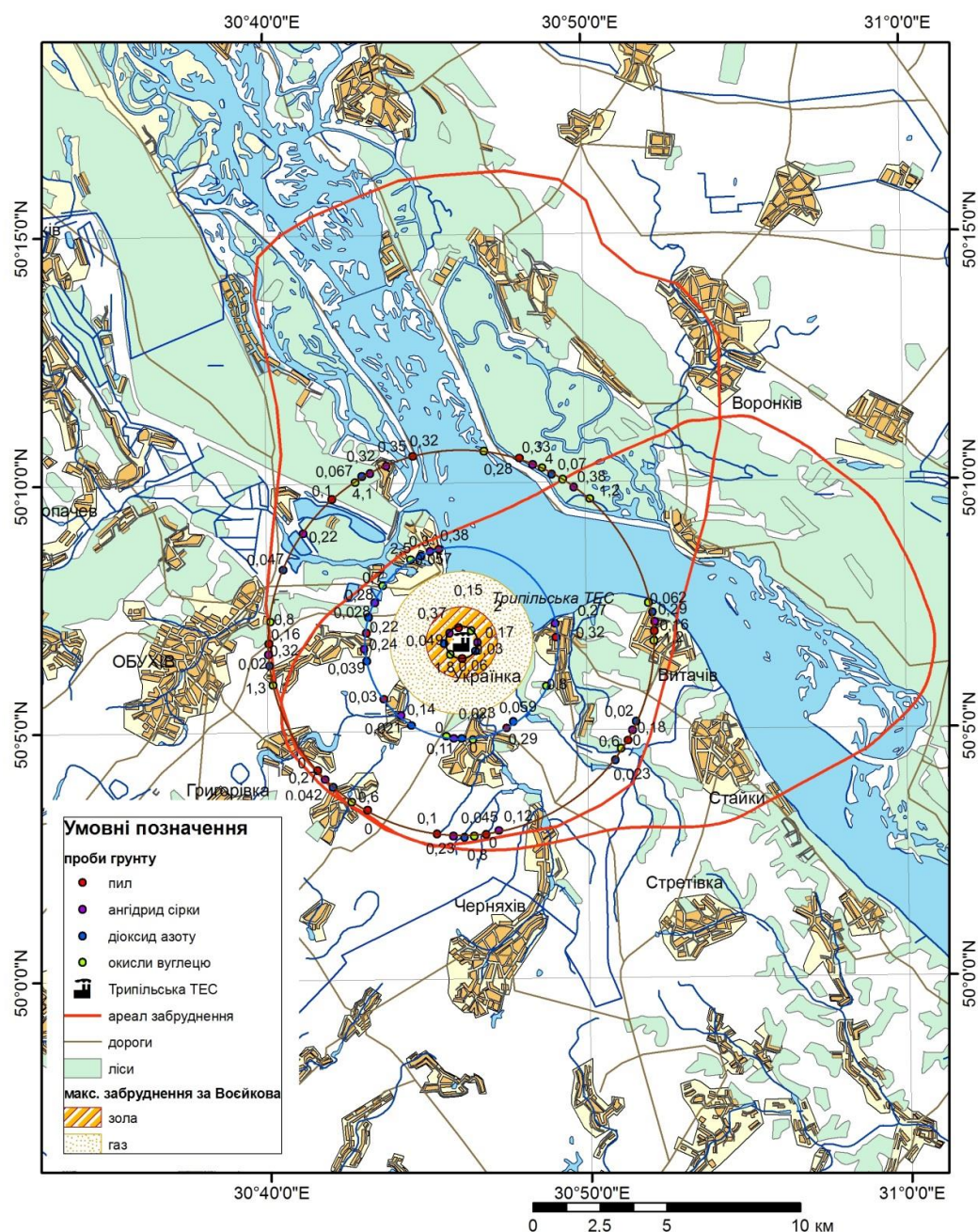


Рис. 2 – Порівняння отриманих результатів при використанні різних методів

Аналіз вивченості екологічного стану р. Сіверський Донець та її основних приток за показниками хімічного складу одного з найбільш техногенно-навантажених регіонів свідчить про стійкі незворотні зміни в якісному та кількісному складі поверхневих вод її басейну [6–10].

На сьогодні нами створено базу даних для прийняття рішень з управління водними ресурсами басейну р. Сіверський Донець. Також побудовані карти з локалізацією постів Державної гідрометеорологічної служби України та локалізацією підприємств, що звітуються за формою № 2–ТП (водгосп) водокористувачів в межах басейну р. Сіверського Дінця.

Окрім статистичних даних, для оцінки стану поверхневих вод у басейні р. Сіверський Донець були використані матеріали космічної зйомки, що отримані з різних джерел:

TERRA/MODIS, NOAA, QuickBird, LANDSAT, SPOT, ICONOS, фондів Державного науково-виробничого центру „Природа” (м. Харків), глобальної комп’ютерної мережі Інтернет.

Результати дешифрування космічних знімків інтегровані у базу геоданих факторів впливу на клас якості води басейну р. Сіверський Донець, що була підключена у ГІС, та проведений комплексний просторовий аналіз за базами класів якості об’єкту дослідження.

На підставі наявних геоданих побудовані картографічні моделі динаміки забруднень поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець.

Оцінка якості поверхневих вод здійснюється відповідно до Методики по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України, розроблену колективом Українського науково-дослідного інституту водогосподарсько-екологічних проблем (м. Київ) [13] та затверджену на державному рівні.

Враховуючи переваги цієї методики, з одного боку, та потужні можливості сучасного інструментарію ГІС технологій, з іншого боку, відкривається можливість автоматизувати процес розрахунку якості води.

Для доповнення картографічної моделі виконані розрахунки антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України у середовищі ГІС-пакету ArcGIS.

Методика запрограмована на базі спеціалізованої мови Python, що вбудована в основу програмного продукту ArcGIS та має змогу інтегрувати у своє середовище багаточисельні протоколи зовнішніх бібліотек сучасних мов програмування.

Як результат – отримано класи якості води в кожному з пунктів спостереження (рис. 3).

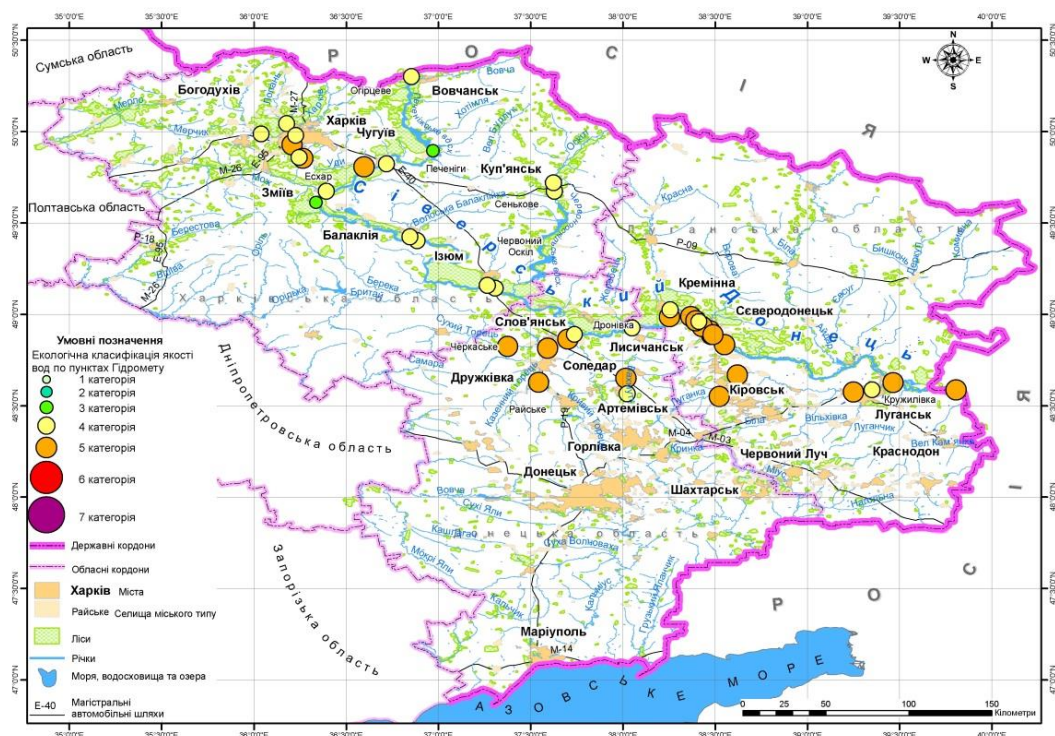


Рис. 3 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод р. Сіверський Донець по пунктах Держгідромету

Оцінити стан поверхневих водних об'єктів за класами та категоріями якості можливо тільки в місцях відбору проб. В умовах постійного скорочення кількості пунктів спостереження та періодичності відбору проб складно оцінити та прийняти рішення, тому бажано знати рівень забруднення в будь якій точці басейну річки. Для побудови моделей просторового розподілу якості поверхневих вод використані геостатистичні методи, що включені до складу додаткового модуля ArcGIS Geostatistical Analyst [14].

Дослідження результатів контролю якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець проведено з використанням усіх геостатистичних методів: ординарний, простий; універсальний; вірогіднісний; диз'юнктивний та індикаторний кригінги.

Метод простого кригінгу є оптимальним для інтерполяції якості поверхневих вод басейну. Метод індикаторного кригінгу дозволяє будувати поверхні вірогідності зміни якості поверхневих вод басейну.

Використовуючи бази геоданих постів спостереження Держгідромету та підприємств, що звітуються за державною статистичною формою 2-ТП водгосп за допомогою модуля Geostatistical Analyst, проведено геостатистичний аналіз, в результаті якого отримана інтерполяційна поверхня значень рівня забруднення поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець (рис. 4).

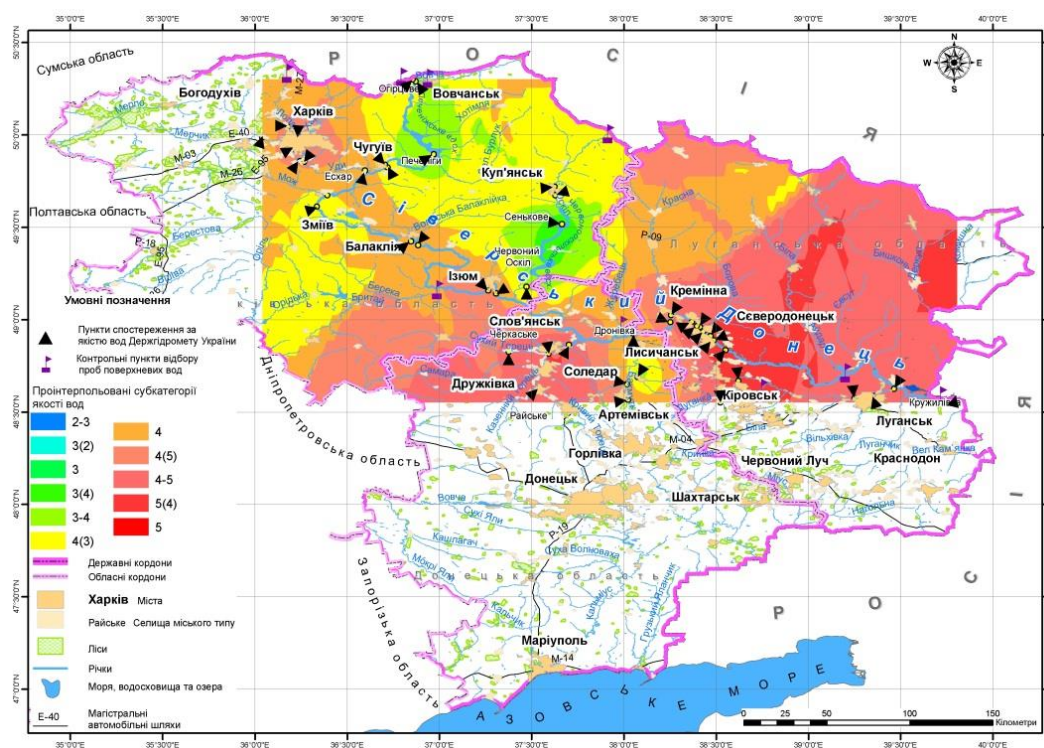


Рис. 4 – Карта інтерпольованих значень рівня забруднення басейну р. Сіверський Донець

Значення якості води, розраховане традиційними методами згідно із затвердженою методикою у контрольних створах, та значення якості води в цих же пунктах, але отримане в результаті інтерполяції за допомогою модуля Geostatistical Analyst програми ArcGis, відрізняється не більше ніж на 5–7%.

Результати дослідження дозволяють підтвердити достовірність побудованої інтерпольованої поверхні якісних характеристик поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець у повному обсязі.

Просторовий аналіз стану якості ґрунтів та поверхневих вод був використаний у розробці макетів предметно-орієнтованих підсистем інформаційної підтримки управління сталим розвитком територій Київської і Луганської областей в середовищі корпоративних ГІС обласних державних адміністрацій.

Запропонована архітектура і склад програмного забезпечення на базі ГІС-платформи ArcGIS забезпечує їх інформаційне і програмне узгодження з існуючими урядовими інформаційно-аналітичними системами.

Розроблені авторами картографічні інформаційні системи раціонального природокористування – це організована сукупність відкритих інформаційних ресурсів, інформаційних технологій, комплексу програмно-технічних засобів. Вони призначені для ефективної реалізації інформаційних процесів, пов'язаних з діяльністю місцевих органів виконавчої влади. Ці системи спроможні інтегрувати, агрегувати, систематизувати інформацію з різних первинних джерел, відтворювати цілісну картину існуючого природокористування та виявляти тенденції його розвитку.

Список використаної літератури

1. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. – К.: Наук. думка, 2007. – 123 с.
2. Красовський Г.Я., Трофимчук О.М., Крета Д.Л., Клименко В.І., Пономаренко І.Г., Суходубов О.О. Синтез картографічних моделей забруднення земель техногенним пилом з використанням космічних знімків // Екологія і ресурси. – 2005. – № 12. – С. 37–55.
3. ОНД–86. Методика расчета в атмосферном воздухе концентраций вредных веществ, что содержатся в выбросах предприятий. – М.: Госгидромет, 1987.
4. Моніторинг забруднення атмосфери техногенним пилом (на прикладі м. Українка) з використанням ДЗЗ, інформаційний звіт з ДКР. – К. «ЕКОМЕДСЕРВІС», 2004. – 42 с.
5. Концепція розвитку водного господарства України Постанова Верховної Ради України від 14 січня 2000 року № 1390-XIV.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 1997 г. / [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 1998 – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 1998. – 252 с.
7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2000 г. / [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2001. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2001. – 274 с.
8. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2002 г. [ответственный редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2003. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2003. – 278 с.

9. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2003 г. / [ответственный редактор Колесник И.А., редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Государственный комитет Украины по гидрометеорологии, 2004. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2004. – 281 с.
10. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 2004 г. / [ответственный редактор Колесник И.А., редактор Радзиевская Н.Г.]. – К.: Госком. Украины по гидрометеорологии, 2005. – Ч. 1 и 2: Выпуск 3. – 2005. – 278 с.
11. «Положення про державну систему моніторингу довкілля» затверджене постановою Кабінетом Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391.
12. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій / Г.Я. Красовський. – К.: Інтертехнологія, 2008. – 480 с.
13. Методика по розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України / УНДІБЕП, 2-ге видання перероблене та доповнене. – К.: „Полімед” – 2007. – 71 с.
14. ArcGis Geostatistical Analyst. Руководство пользователя: Пер. с англ. / К. Джонсон, Д.М. Хоеф, К. Криворучко, Н. Лукас. – М.: Дата +, 2002. – 278 с.

Стаття надійшла до редакції 14.01.14 українською мовою

© Y.S. Anpilova, V.I. Klimenko, D.L. Kreta, A.N. Trofymchyk

**SPATIAL ANALYSIS FOR SOIL CONTAMINATION AND SURFACE WATER
POLLUTION BY USING REMOTE SENSING AND GIS**

This paper consider methods allow determining the regularities of changes in the soil quality and in the surface water quality, in particular determining the areas with excessive concentrations of contaminants which have a negative impact on the ecological condition of the river basin and of soil. Also it allows construction of analytical and cartographic models based on the GIS system and the space survey data.

© Е.С. Анпилова, В.И. Клименко, Д.Л. Крета, А.Н. Трофимчук

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
ВОД И ПОЧВ МЕТОДАМИ ГИС И ДЗЗ**

В этой статье рассмотрены методы, позволяющие выявить закономерности изменения качества поверхностных вод и почв, а именно зоны повышенной концентрации загрязняющих веществ, которые влияют на их экологическое состояние, а также полученные картографические модели с использованием возможностей геоинформационных систем и материалов космической съемки.