

ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 502.5:556.332.5

О.Є. Кошляков, канд. геол.-мінералог. наук

**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
В ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ЗМІНАМИ РІВНІВ ҐРУНТОВИХ ВОД**

Викладено концептуальні основи методології дослідження і прогнозування змін рівнів ґрунтових вод для оцінки екологічної безпеки окремих систем ґрунтових вод з врахуванням ризику.

The conceptual bases of methodology of research and forecasting of changes of levels of ground waters for a rating of ecological safety of separate ground water systems are stated in view of risk.

Постановка проблеми. На сьогодні використання природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища зрівнялися за масштабами з природними процесами. Це порушує екологічну рівновагу, яка склалася протягом тривалого часу еволюції, і спричиняє в окремих регіонах екологічні кризові ситуації, небезпечні для людей і довкілля. Зокрема, за останні десятиліття в Україні загострилася проблема підтоплення, яка пов'язана з підняттям рівнів ґрунтових вод близько або майже до поверхні землі, що призводить до заболочування території, зміни ґрунтово-рослинного покриву, нераціонального використання земельних ресурсів тощо [1]. Тому оцінка і прогнозування змін рівнів ґрунтових вод є однією з актуальних задач забезпечення екологічної безпеки.

Аналіз проблеми. Як відмічається в [2], найважливішими проблемами сучасності, які ще донедавна були локальними, а нині перетворились на національні й світові – глобальні, є проблеми екологічної безпеки. Екологічна безпека розглядається як один із стратегічних фундаментальних компонентів національної безпеки. З усією гостротою постає питання про те, який рівень безпеки є прийнятним. Науково обґрунтовану відповідь на це питання можна дати лише тоді, коли є відповідна методологія дослідження безпеки. Необхідно мати шкалу, за допомогою якої можна було б кількісно виміряти небезпеку. Такою методологією на сьогодні є аналіз ризику [3]. Термін "ризик" використовується як у науковому, так і в повсякденному спілкуванні. Приблизно з 60-х років ХХ ст. ризик стає предметом міждисциплінарних досліджень. Вважається, що об'єктивне існування ризику зумовлене ймовірнісним характером багатьох природних, соціальних і технологічних процесів [4].

Традиційний для гідрогеології підхід до оцінки і прогнозування змін рівнів ґрунтових вод не передбачає власне використання аналізу ризику. Зазвичай при про-

гнозуванні рівнів ґрунтових вод використовуються методи математичного моделювання геофільтрації, які дозволяють визначити розташування поверхні ґрунтових вод для певної території на певний час. При цьому перевага надається детермінованим математичним моделям. Такі моделі будують для певної гідродинамічної системи ґрунтових вод, отже розглядають таку систему в цілому, з врахуванням існуючих (точніше, встановлених) зв'язків між елементами системи. Тому ці моделі мають найбільшу прогностичну здатність (відповідно й точність) [5]. Реалізація їх фактично зводиться до конкретного прогнозного інженерного розрахунку рівнів ґрунтових вод, який не містить безпосередньої оцінки ризику. Детерміновані моделі для свого коректного використання вимагають досить високої забезпеченості вихідною інформацією, зокрема даними про фільтраційні та ємнісні властивості гірських порід. У дійсності отримання такої інформації пов'язано з виконанням великого комплексу спеціальних польових і лабораторних досліджень, отже значних фінансових витрат. Тому в певних випадках використовують також ймовірнісні моделі, які базуються на обробці даних режимних спостережень за рівнями ґрунтових вод. Отриманий при цьому результат відповідає конкретній точці гідродинамічної системи. Ймовірнісні моделі непрямим шляхом певною мірою враховують ризик (через застосування рівня значущості), але не розглядають гідродинамічну систему ґрунтових вод в цілому. Їх використання є більш доцільним для передбачення, ніж для власне прогнозування [5].

З наведеного вище можна зробити висновок, що відсутність методології аналізу ризику при прогнозуванні змін ґрунтових вод не дозволяє виконувати об'єктивні оцінки екологічної безпеки в зв'язку із змінами рівнів ґрунтових вод, а розробка такої методології є актуальною задачею.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка концептуальних основ методології дослідження і прогнозування змін рівнів ґрунтових вод для оцінки екологічної безпеки окремих систем ґрунтових вод з врахуванням ризику.

Методика та результати дослідження. Методика дослідження включала теоретичний аналіз існуючих уявлень про гідродинамічні системи ґрунтових вод з позицій оцінки стійкості таких систем до зовнішнього впливу. Така оцінка стійкості розглядалась як показник екологічної безпеки згаданих систем з врахуванням ризику при прогнозуванні змін рівнів ґрунтових вод. Висновки, які були отримані внаслідок теоретичного аналізу, були перевірені на конкретній математичній моделі системи ґрунтових вод району Голосіївської площі в м. Києві.

Відомо, що стійкість будь-якої системи до зовнішніх впливів та її реакція на впливи залежить від того, як такі впливи змінюють існуючий енергетичний стан системи. Отже, стійкість та енергетичний стан системи характеризується розподілом в ній енергії. За умов тривалих сталих зовнішніх впливів система поступово адаптується до них і досягає стану енергетичної рівноваги. Зміна величини або поява нового фактора впливу на систему призводять до того, що система або залишається в попередньому енергетичному стані (якщо не перевищуються межі її стійкості), або переходить у новий енергетичний стан (якщо такі межі перевищуються). Перехід до нового енергетичного стану займає певний час, після чого система знову повертається до стійкого енергетичного стану, але вже на іншому рівні. У такому разі ризик втрати системою стійкості (ризик зміни енергетичного стану системи) можна визначити як ймовірність переходу системи до нового енергетичного стану внаслідок зміни величини або появи нового фактора впливу на систему.

Гідродинамічна система ґрунтових вод не є винятком. Зовнішні фактори впливу (передусім техногенні) порушують її енергетичний стан, унаслідок чого існуюча природна стійка система змінюється (іноді досить суттєво), що при перевищенні меж стійкості призводить до її руйнації (точніше, до початку процесу тривалого формування нового стійкого енергетичного стану системи). Практичним наслідком цього може бути виникнення та розвиток негативних з позицій екології процесів, пов'язаних з ґрунтовими водами (наприклад, процесу підтоплення). Вивчаючи існуючий енергетичний стан конкретної гідродинамічної системи ґрунтових вод та прогнозуючи його зміни (зокрема, за допомогою математичного моделювання), можна оцінити таку систему з погляду екологічної безпеки з врахуванням ризику при змінах її енергетичного стану.

Енергетичний стан системи підземних вод характеризується розподілом у ній гідродинамічних напорів. Стосовно гідродинамічної системи ґрунтових вод це є розподіл рівнів ґрунтових вод у просторі і часі. Отже, розподіл рівнів ґрунтових вод конкретної гідродинамічної системи може слугувати показником, який потенційно дозволяє оцінити її з позицій екологічної безпеки. Розподіл рівнів ґрунтових вод зазвичай представляється

ся у вигляді карт гідроізогіпс, які будуються для певних періодів часу за допомогою одного з методів інтерполяції [6] між точками з фактично відомими (або розрахованими на основі математичних детермінованих моделей) величинами рівнів ґрунтових вод. Проте безпосередньо такий вигляд представлення не дає можливості здійснити згадану оцінку.

На наш погляд, для оцінки конкретної гідродинамічної системи ґрунтових вод щодо екологічної безпеки є доцільним застосування порівняльного аналізу отриманих для різних періодів часу (у т. ч. і прогнозних періодів) гістограм розподілу рівнів ґрунтових вод. Вихідними даними для побудови гістограм (формування вибірок) слугуватимуть або рівні ґрунтових вод, що безпосередньо фіксуються в точках спостережень, або результати математичного детермінованого моделювання, або дані існуючих карт гідроізогіпс.

Суттєвість змін стану конкретної гідродинамічної системи ґрунтових вод під впливом зовнішніх факторів може бути встановлена шляхом порівняння вибірок гідродинамічного напору (рівнів ґрунтових вод) для різних періодів часу за допомогою статистичних непараметричних критеріїв (наприклад, непараметричного критерію Уїлкоксона) [7]. Довірча ймовірність, яка застосовується за такого порівняння, слугуватиме мірою ризику.

Наведені вище теоретичні висновки були перевірені на конкретній математичній моделі системи ґрунтових вод району Голосіївської площі в м. Києві. Модель є тришаровою, шари не є витриманими за потужністю та водопроникністю. Величина інтенсивності інфільтраційного живлення ґрунтових вод задавалась по площі диференційовано, залежно від щільності забудови та штучного покриття території. На моделі також враховані розташування, тип і режим роботи інженерних споруд, що призначені для забезпечення будівництва та штучного зниження рівнів ґрунтових вод. Про правильність створеної математичної моделі свідчить збіг даних натурних спостережень за рівнями ґрунтових вод [5] та результатів епігнозного моделювання цих рівнів.

Зміна поверхні ґрунтових вод даної складної гідродинамічної системи відбувається внаслідок тривалого відкачування із свердловин, через що підземний потік зазнає дуже суттєвого переформування порівняно з існуючим станом. Інакше кажучи, гідродинамічна система штучно переводиться в інший стан, який є необхідним для забезпечення будівництва та експлуатації інженерних споруд.

Дані щодо рівнів ґрунтових вод, отримані на математичній моделі для різних періодів часу, оброблялись статистичними методами, а саме: будувались та аналізувались гістограми розподілу рівнів ґрунтових вод (за даними вибірок), а самі вибірки ґрунтових вод порівнювались між собою за допомогою критерію Уїлкоксона.

Усі побудовані гістограми свідчать про бімодальний розподіл рівнів ґрунтових вод для даної гідродинамічної системи. У табл. 1 наведено величини моди та її відносної частоти для різних періодів часу.

Таблиця 1. Величини моди та відносної частоти розподілу рівнів ґрунтових вод

	Вихідна система ґрунтових вод	Система ґрунтових вод через 10 діб	Система ґрунтових вод через 30 діб	Система ґрунтових вод через 100 діб	Система ґрунтових вод через 200 діб	Система ґрунтових вод через 1 рік	Система ґрунтових вод через 5 років	Нова система ґрунтових вод
Мода 1	128,33	124,89	120,17	119,41	119,17	119,15	119,17	118,83
Мода 2	148,43	141,94	141,85	141,47	145,19	140,69	139,88	137,13
Відносна частота моди 1	0,15	0,17	0,20	0,22	0,23	0,25	0,25	0,26
Відносна частота моди 2	0,22	0,18	0,18	0,18	0,22	0,18	0,15	0,16

Розгляд даних табл. 1 дозволяє зробити такі висновки. Приблизно через 200 діб після початку відкачування існуючий стан системи ґрунтових вод зазнав руйнації (втратив стійкість), і розпочався період переходу до іншого стану. Про це свідчить перепад у тенденції зміни величини відносної частоти моди 2. Період переходу тривав до п'яти років від початку відкачування, після чого система ґрунтових вод перейшла в інший стійкий

стан (значення відносних частот мод 1 і 2 на п'ять років та для нового усталеного режиму фільтрації при відкачуванні майже не відрізняються).

Результати порівняння вибірок рівнів ґрунтових вод (з імовірністю 0,95) наведено в табл. 2 (знак "+" означає, що вибірки є статистично однаковими, а знак "-" – що вони різні).

Таблиця 2. Результати порівняння вибірок рівнів ґрунтових вод з імовірністю 0,95

	Вихідна система ґрунтових вод	Система ґрунтових вод через 10 діб	Система ґрунтових вод через 30 діб	Система ґрунтових вод через 100 діб	Система ґрунтових вод через 200 діб	Система ґрунтових вод через 1 рік	Система ґрунтових вод через 5 років	Нова система ґрунтових вод
вихідна система ґрунтових вод	+							
система ґрунтових вод через 10 діб	+	+						
система ґрунтових вод через 30 діб	+	+	+					
система ґрунтових вод через 100 діб	+	+	+	+				
система ґрунтових вод через 200 діб	-	+	+	+	+			
система ґрунтових вод через 1 рік	-	+	+	+	+	+		
система ґрунтових вод через 5 років	-	-	-	+	+	+	+	
нова система ґрунтових вод	-	-	-	-	-	-	+	+

Дані табл. 2 також свідчать про те, що з імовірністю 95 % через 200 діб після початку відкачування існуюча система ґрунтових вод втратила стійкість, і розпочався період її переходу до іншого стану. Через п'ять років після початку впливу на систему настає стабілізація, отже, система переходить до іншого стійкого стану.

Таким чином, аналіз практичних результатів дослідження дозволяє зробити висновок стосовно стійкості, ризику та екологічної безпеки системи ґрунтових вод району Голосіївської площі в м. Києві. З ризиком помилитися в 5 % можна стверджувати, що при розглянутих умовах система ґрунтових вод через 200 діб після початку впливу втратить існуючу природну стійкість, а через п'ять років перейде до нового штучного стійкого стану. Тобто ризик саме такого розвитку подій для системи ґрунтових вод при конкретному техногенному втручанні в систему становить 95 %, отже, дане техногенне втручання є дуже небезпечним з екологічного погляду.

Висновки. Методологічна концепція дослідження і прогнозування змін рівнів ґрунтових вод для оцінки екологічної безпеки окремих систем ґрунтових вод з врахуванням ризику може базуватись на застосуванні порівняльного аналізу отриманих для різних періодів часу гістограм розподілу рівнів ґрунтових вод та порівнянні вибірок гідродинамічного напору (рівнів ґрунтових вод) для різних періодів часу за допомогою статистичних критеріїв. Довірча ймовірність, яка застосовується при такому порівнянні, є мірою ризику втрати системою існуючої стійкості при техногенному впливі.

Подальші дослідження слід зосередити на аналізі поведінки типових природних систем ґрунтових вод за різних варіантів техногенного впливу за допомогою імітаційного математичного моделювання.

1. Мельничук І.В., Кошляков О.Є., Байсарович І.М. Регіональні проблеми підтоплення території України // Регіональні екологічні проблеми. – К., 2002. – С. 21–26.
2. Яцик А.В. Екологічна безпека в Україні. – К., 2001.
3. Водні ресурси України: екологічний та соціальний виміри // Матеріали круглого столу, проведеного Центром соціального прогнозування. – К., 2003.
4. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення / А.Б. Качинський. – К., 2001.
5. Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання: Підручник. – К., 2003.
6. Ішук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / За ред. акад. Д.М. Гродзинського. – К., 2003.
7. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: В 2-х кн.: Пер. с англ. / Под ред. Д.А. Родионова. – М., 1990. – Кн. 1.

Надійшла до редколегії 20.12.04