

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ МІСТ І СЕЛИЩ УКРАЇНИ

© Є.О. Яковлєв, В.О. Сляднєв, Н.А. Юркова, 2009

Інститут національної безпеки при РНБО України, Київ

Інститут геологічних наук НАН України, Київ

Державне науково-виробниче підприємство "Геоінформ України", Київ

The results of GIS applying for new approaches in the engineering-geological risks assessment are presented in the article. Regional flooding of territories is, at present the main factor of geological changes, first of all, the water-heat exchange and the balance between the mineral skeleton and porous water. About 70% of towns and settlements in Ukraine are situated on loess grounds, which are highly sensitive to the influence of flooding and technogenic water-supplying pipe systems. The application of GIS makes it possible to further develop the engineering-geological risks assessment methodology.

Вступ. Переважна більшість видів господарської діяльності людини вносить суттєві зміни у природні умови території, зокрема у перебіг геологічних процесів, наприклад екзогенних. Активна урбанізація території країни, створення потужних гірничодобувних, гідротехнічних, гідромеліоративних, агропромислових та інших технологічних комплексів, атомних і теплових електростанцій протягом останніх десятиліть призвели до значного зростання водних, теплових, хімічних та інших навантажень на верхню зону геологічного середовища (ГС) та активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП) – зсувних, підтоплення, просідань та ін.) як у територіальному, так і локальному аспекті [1, 2].

За даними Держгеолслужби Мінприроди на території України у 2007 р. виявлено понад 23 тис. зсувів, зокрема 2,2 тис. на забудованих територіях, 23 тис. карстових та суфозійно-карстових утворень, прояви осередків сталого підтоплення охоплюють майже 121 тис. км² території країни (сумарно до 2–3 млн га). З початку 1970 р. ступінь ураженості території НЕГП збільшилась у 1,5–2 рази. При цьому підвищився їх негативний вплив на функціонування господарських об'єктів. За даними Держгеолслужби, карст виявляється на 37 % території України, при цьому в межах впливу регіонального підтоплення швидкість процесів карстоутворення зростає в 1,5–3 рази, зсуви відбуваються на 50 % освоєних схилів; просідання лесових порід – майже всюди, де вони поширені. Наведене засвідчує, що умови експлуатації житлово-господарських будинків і споруд міст та селищ міського типу України характеризуються нарощуванням техногенної дестабілізації інженерно-геологічних параметрів ГС, наслідком якої є подальше збільшення кількості

кризових явищ, зокрема пов'язаних з НЕГП, практично в усіх інженерно-геологічних регіонах України [3].

За даними Міністерства надзвичайних ситуацій наслідки геологічного характеру, зумовлені зсувами, тільки у м. Дніпропетровську в 1997 р. та у м. Чернівці у 1999 р. завдали збитків на суму близько 54 млн грн. У Херсонській, Миколаївській, Запорізькій областях у 1998 р. першочергові збитки тільки від підтоплення становили майже 10 млн грн.

В умовах просторово-часового розвитку НЕГП та зростання їх загроз техногенної небезпеці набуває особливої актуальності використання принципів оцінки й керування ризиками як одного з методів попередження й зниження наслідків прояву цих процесів. Технологія оцінки й аналізу ризику дає можливість вирішувати проблеми боротьби із проявами НЕГП і вести планування захисних заходів, спрямованих на зниження ризику надзвичайних ситуацій (НС) геологічного походження [4].

Постановка завдання досліджень. В останні роки порушення рівноваги в техногенно-геологічній системі (ТГС) техногенний об'єкт – геологічне середовище під дією природних і техногенних чинників стає усе багатограннішим і спричиняє виникнення й активізацію НЕГП, що призводять до критичних і руйнівних деформацій будинків і споруджень, прискореного руйнування підземних комунікацій. Збереження прийнятних умов тривалого безпечного функціонування останніх у межах міст і селищ міського типу визначається стійкістю різноманітних ТГС до комплексних впливів природних і техногенних чинників. Поняття стійкості як оцінного критерію стану ТГС з'явилося наприкінці 1970-х – на

початку 1980-х років (Бондарик Г.К., 1981), і його слід розглядати як здатність системи адаптуватися до динамічних і статичних навантажень протягом усього періоду існування будинків і споруджень, що змінюють природний характер ГС. Таким чином, еколого-техногенна безпека ТГС переважно визначається ризиком втрати стійкості ГС під впливом природних і техногенних чинників [5].

Під ризиком розуміємо міру можливості реалізації небезпеки у вигляді деякого збитку. Однак у зв'язку з тим що ми розглядаємо відхилення параметрів ГС від природного або прогнозованого (розрахункового в ТГС) стану, ризик оцінюємо не у вигляді збитку, а як можливу величину відхилення від критичних характеристик (Дзекцер Е.С., 1994, Качинський А.Б., 2006, 2007). Геологічний ризик, що є об'єктом наших досліджень, визначаємо ймовірністю розвитку небажаних природних або природно-техногенних явищ у ГС та ТГС унаслідок активізації геодинамічних процесів, що створюють загрозу людям, погіршують безпеку життєдіяльності в містах і селищах через передчасне зношування й вихід з ладу житлових, промислових споруджень, підземних і наземних життєзабезпечувальних систем (водопровідно-каналізаційних, теплоенергетичних та ін.) [6].

Математично геологічний ризик можна навести у вигляді

$$R = P(H) \cdot P(V),$$

де R – геологічний ризик; $P(H)$ – імовірність виникнення небезпечного впливу (H); $P(V)$ – імовірність зміни ГС (V) за небезпечного впливу (H).

Методологічно функцію геологічного ризику ТГС міст і селищ можна подати у вигляді схеми за 4 групами чинників: двома просторовими – підтоплення, просідання, та двома локально-об'єктовими – зсуви, карст, які формують комплексний ризик міст і селищ на регіональному рівні. Крім того, ця модель оцінки інженерно-геологічного ризику дає змогу враховувати провідний генетичний вплив підтоплення міст і селищ на активізацію процесів зсуво-карстоутворення та просідань, які є головними чинниками екзогеодинамічних змін ГС.

Прийнята модель оцінки регіонального інженерно-геологічного ризику міст та селищ з проявами підтоплення їх територій внаслідок цього є імовірною у зв'язку з випадковим характером прояву більшості природних і техногенних інженерно-геологічних процесів, які призводять до ускладнення стану та зниження термінів експлуатації зданій та споруд [7].

Методика та результати досліджень. Для оцінки інженерно-геологічного ризику використовували сучасну комп'ютерну ГІС-технологію, що дає змогу відобразити просторово-часову струк-

туру полів НЕГП і виконувати аналіз їх впливу на стан ТГС "ГІС-техногенний об'єкт". Ця технологія поєднує традиційні роботи з базами даних, такими як запит і статистичний аналіз, з подальшим просторовим аналізом отриманих результатів з побудовою карти [8].

Оскільки інженерно-геологічний ризик оцінювали з використанням ГІС-технологій, одним з первісних завдань було створення й актуалізація картографічної й атрибутивної баз даних. Для створення картографічної бази даних використовували цифрові топографічні карти, що відображають просторове положення гіпсометрії рельєфу та населених пунктів. Крім того, виконано перетворення картографічних документів (карт розвитку підтоплення, зсувних процесів, просадкових порід і карстових процесів на території України) у цифрову форму, доступну для існування в машинному середовищі й відповідному векторному відображенню просторових об'єктів [9], тобто застосовували растрові зображення вихідних карт розвитку екзогенних геологічних процесів з їх подальшою векторизацією у середовищі ГІС.

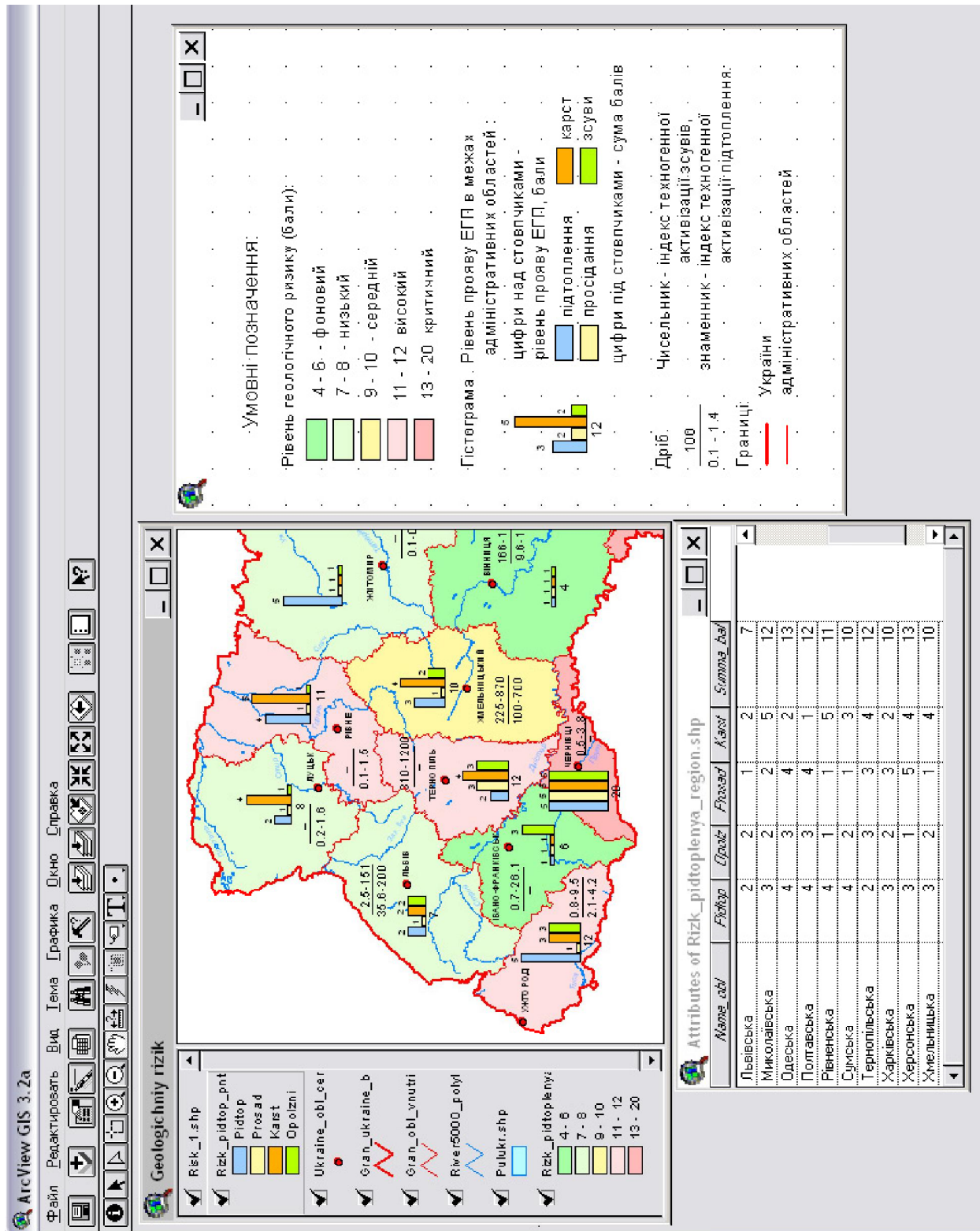
Структура атрибутивної бази даних містила інформацію про якісні й кількісні характеристики НЕГП.

У межах прийнятого підходу до створення бази даних її використання засновано на таких концептуальних положеннях:

- основна атрибутивна інформація, яка характеризує НЕГП, зберігається в базі відповідно до прийнятої моделі класифікації даних; ця модель дає змогу здійснювати ефективний пошук даних та істотно полегшує завантаження і візуалізацію будь-якого інформаційного шару;
- для візуалізації кожного шару даних визначені параметри його подання як теми ArcView; це дає змогу одноманітно зображувати графічну інформацію, що полегшує її сприйняття в процесі роботи;
- дані, що характеризують фактори інженерно-геологічного ризику, можуть бути завантажені разом із зовнішньою (допоміжною) атрибутивною інформацією, яка отримана з різних джерел – як із файлової системи, так із систем керування базами даних;
- набір таблиць, що завантажуються, міняється залежно від поточного завдання, що вирішує фахівець.

За таким механізмом скорочується час завантаження регіонального шару, і користувач не сприймає залишкову на цей момент інформацію.

Застосовуваний картографічний метод являє собою одну з форм просторового моделювання досліджуваних об'єктів і дає змогу створювати багат шарові електронні карти, у яких опорний шар відображає географічне положення об'єктів, які вивчаються; у нашому випадку це міста і се-



Приклад створення карти інженерно-геологічного ризику

лища міського типу, а кожен наступний шар характеризує структуру розвитку НЕГП на цій території. Таким чином, картографічна модель показує важливі в інженерно-геологічному плані просторові зв'язки досліджуваного об'єкта (міста й селища міського типу) з цільовими об'єктами і явищами ГС (зсуви, карст, підтоплення, просадковість), які отримані на основі різного співвідношення й взаємного накладання цих шарів [10].

Загалом усі об'єкти НЕГП у межах міст і селищ, які формують регіональну базу інженерно-геологічного ризику, розглядають як стохастичні сукупності. Аналіз їх характеристик у межах адміністративних областей дає змогу отримати інтегральну оцінку їх впливу на формування геологічного ризику за адитивною схемою врахування чинників:

$$R_{\text{гт}} = f(r_{\text{зс}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} + r_{\text{підт}}),$$

де $r_{\text{зс}}$, $r_{\text{пр}}$, $r_{\text{к}}$, $r_{\text{підт}}$ – відповідно ураженість території міст та селищ зсувами, просадковістю, карстом, підтопленням, у балах.

При цьому нами враховані дві базові тези, які обґрунтовують правомірність використання наведеної методики:

- інженерно-геологічна еквівалентність впливу будівельних об'єктів міст і селищ на природні та техногенні зміни ГС (зміни тепловологоперенесення, водонасичення, несівної здатності порід, зменшення пористості й проникності та ін.);
- екогеодинамічна еквівалентність провідних процесів, які відбуваються в ГС і зоні формування ТГС “будівельний об'єкт – ГС” (довготривалі та циклічні зміни напруженого стану, приземного вологоповітрообміну, порушення рівноваженого профілю схилів та ін.) у межах міст й селищ міського типу.

Крім того, прийняті положення дають змогу визначати критерій порівняльної оцінки факторів, що впливають на формування інженерно-геологічного ризику, використовувати метод, суть якого – об'єднання всього розмаїття чинників геологічного ризику, виражених у різних одиницях, у єдину бальну систему (Тікунов В.С., 1997, Адаменко О.М., Рудько Г.І., 2003). Кожен чинник, незалежно від одиниць виміру, оцінено в балах. Оцінювані об'єкти (міста й селища міського типу в межах адміністративних областей, які відчували вплив НЕГП) диференційовано за загальною сумою балів.

З метою вірогіднішої оцінки просторового розподілу змін інженерно-геологічного ризику в межах адміністративних областей України використовували природну розбивку даних на інтервали, тому що цей метод дає змогу об'єднувати розподілені за картою близькі значення параметра в один інтервал [11].

Враховуючи значний рівень осереднення та генералізації показників, а також з метою отримання найбільшої однорідності значень інженерно-геологічного ризику всередині інтервалу й найбільшого розходження між інтервалами, використовували 5-бальну шкалу значень інженерно-геологічного ризику (див. рисунок).

Висновки. Результати регіональної інтегральної оцінки груп параметрів дали змогу виділити в межах України території з різним ступенем інженерно-геологічного ризику міст та селищ міського типу.

Критичними значеннями інженерно-геологічного ризику території міст і селищ на регіональному рівні характеризуються Чернівецька, Одеська, Херсонська області з активним поширенням слабопроникних просадкових порід та активним підтопленням земель.

Високий інженерно-геологічний ризик території міст і селищ на регіональному рівні спостерігається у Закарпатській, Тернопільській, Рівненській, Київській, Дніпропетровській, Полтавській, Запорізькій, Миколаївській областях.

Знижений регіональний інженерно-геологічний ризик відзначено у північній, північно-східній та центральній частинах України (АР Крим, Донецька, Луганська, Івано-Франківська, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Волинська, Львівська, Житомирська, Чернігівська області).

Більша частина території України характеризується середнім, високим та критичним рівнями інженерно-геологічного ризику.

Отже, виконана регіональна оцінка інженерно-геологічного ризику міст й селищ міського типу на території України засвідчує дуже складний характер її територіального розподілу внаслідок змін взаємодії техногенних, геологічних і фізико-географічних чинників.

Слід звернути увагу на деяку умовність виконаних регіональних оцінок рівня інженерно-геологічного ризику територій міст і селищ у межах адміністративних областей України. Водночас регіональний масштаб (1 : 1 000 000) полегшує просторове сприйняття основних рис і характеристик НЕГП, уперше дає якісне відображення закономірності розміщення прояву інженерно-геологічного ризику, що спостерігається на значних просторах у системах вищого рангу, і в остаточному підсумку веде до одержання нових знань щодо умов експлуатації житлово-господарських будинків і промислових споруд у містах і селищах міського типу України.

1. Биченок М.М., Яковлев Є.О., Іванюта С.П. Динаміка ризиків у природно-техногенній сфері // Екологія і ресурси. – 2006. – № 14. – С. 23–29.
2. Трофимчук О.М., Яковлев Є.О., Закорчевна Н.Б., Госк Е. Регіональне підтоплення міст та селищ України як фактор її національної безпеки // Екологія довкілля

- та безпека життєдіяльності. – 2003. – № 6. – С. 12–23.
3. *Сляднев В.А.* Риск изменения эколого-геологических условий при реструктуризации горнопромышленных районов Донбасса // Там же. – 2007. – № 2. – С. 12–15.
 4. *Осипов Н.И.* Оценка природных рисков // Геоэкология. – 2004. – № 6. – С. 483–490.
 5. *Кофф Г.Л., Кожевина Л.С., Жигалин А.Д.* Общие принципы оценки устойчивости городской экосистемы // Там же. – 1997. – № 4. – С. 54–63.
 6. *Дзекцер Е.С.* Геологическая опасность и риск // Инж. геология. – 1992. – № 6. – С. 3–10.
 7. *Шестопалов В.М., Трофимчук А.Н., Лущик А.В., Яковлев Е.А.* Эколого-геодинамические аспекты влияния регионального подьема уровня грунтовых вод и подтопления земель Украины на снижение инженерно-сейсмогеологической безопасности жилищных и промышленных объектов // Тр. Междунар. науч. конф. – Москва: Изд-во МГУ, 2006. – С. 142–144.
 8. *Митчел Э.* Руководство по ГИС анализу. Ч. 1. Пространственные Модели и Взаимосвязи. – Киев, 2000. – 179 с.
 9. *Рудько Г.І., Адаменко О.М.* Конструктивна геоecологія: наукові основи та практичне втілення / За ред. Г.І. Рудька. – Черкаси: ТОВ “Маклаут”, 2008. – 320 с.
 10. *Яковлев Е.А., Сляднев В.А., Юркова Н.А.* Факторы экологического риска изменения состояния геологической среды при закрытии угольных шахт Донбасса / Мониторинг навколишнього середовища. Наук.-методичне, нормативне, технічне, програмне забезпечення. Матеріали наук.-практ. конф. АР Крим, м. Коктебель, 18–22 верес. 2006 р. – К.: НППЦ “Екологія. Наука. Техніка”, 2006. – С. 48–50.
 11. *Іщук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є.* Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навч. посібник / За ред. акад. Д.М. Гродзинського. – К.: Видавн.-полігр. центр “Київ. ун-т”, 2003. – 200 с.

Надійшла до редакції 29.04.2009 р.

Є.О. Яковлев, В.О. Сляднев, Н.А. Юркова

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ МІСТ І СЕЛИЩ УКРАЇНИ

У статті розглянуто результати впровадження ГІС для оцінки інженерно-геологічних ризиків. Сучасна динаміка процесу регіонального підтоплення земель перетворилася на головний чинник змін параметрів геологічного середовища, насамперед її водотеплообміну та рівноваги в системі мінеральний скелет порід – порові розчини. Провідним чинником формування інженерно-геологічного ризику є те, що до 70 % міст і селищ розташовані в зоні розвитку лесових порід, які є високочутливими до впливу підтоплення та інфільтрації техногенних вод при втратах із водопровідно-каналізаційних і теплоенергетичних мереж. Використання ГІС-технологій для оцінки впливу цих чинників дає можливість розвивати методологію оцінки інженерно-геологічного ризику.

Е.А. Яковлев, В.А. Сляднев, Н.А. Юркова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ГОРОДОВ И ПОСЕЛКОВ УКРАИНЫ

В статье рассмотрены результаты внедрения ГИС для оценки инженерно-геологических рисков. Современная динамика процесса регионального подтопления земель превратилась в ведущий фактор изменений параметров геологической среды, прежде всего ее водотеплообмена и равновесия в системе минеральный скелет пород – поровые растворы. Один из ведущих факторов формирования инженерно-геологического риска – расположение 70 % городов и поселков в зоне развития лесовых пород, высокочувствительных к влиянию подтопления и инфильтрации техногенных вод при потерях из водопроводно-канализационных и теплоэнергетических сетей. Использование ГИС-технологий при оценке влияния данных факторов дает возможность дальнейшего развития методологии оценки инженерно-геологического риска.