

## ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЗСУВНОЇ АКТИВНОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ ПРАВОБЕРЕЖЖЯ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Досліджено зсувні процеси на території правобережжя Дніпра у межах Київського водосховища. На основі врахування комплексного впливу метеорологічних, геофізичних, гідрогеологічних та гідрологічних чинників виконано довгострокове прогнозування розвитку зсувних процесів у часі до 2020 року.

**Ключові слова:** зсуви; правобережжя Київського водосховища; часові фактори; автокореляція; прогноз; екстраполяція.

### Вступ

Відповідно до матеріалів Національної доповіді про стан природної та техногенної безпеки в Україні, у 2010 році загальна кількість зсувів на території держави становила 22936 із загальною площею 2134,04 км<sup>2</sup>. Постійна активізація зсувних процесів та багатомільйонні збитки спонукали до потужних науково-дослідних робіт у напрямі їх прогнозування.

### Постановка проблеми

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України “Про затвердження Комплексної програми прогнозування зсувів на 2005–2014 роки” (2004) та за дорученням Президента України (2010) в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу створено аналітичну геоінформаційну систему прогнозування зсувних процесів. Ця геоінформаційна система призначена для довгострокового регіонального просторово-часового прогнозування ймовірності зсувної небезпеки й опрацьовує дані у картографічному представленні в масштабах 1 : 200000 – 1 : 50000 [Закономерная..., 2006; Кузьменко та ін., 2005].

Особливості прогнозування з використанням зазначеної системи є формалізований підхід з урахуванням геологічних, тектонічних, геоморфологічних, геофізичних, метеорологічних, гідрогеологічних факторів та розрахунків комплексного показника факторних характеристик з подальшим переходом до ймовірності. Вказаний підхід останнім часом розвивається як в Україні [Іванік, 2008; Беспалова, 2003], так і за кордоном [Materials..., 2008].

У статті подано методику довгострокового часового прогнозу зсувів на території правобережжя Дніпра на берегах Київського водосховища та результати такого прогнозування.

### Вихідні дані

Правобережжя ріки Дніпра у межах Київської області найбільш уражене зсувними процесами. Особливо це стосується берегів водосховищ – Канівського та Київського. Це зумовлено особливостями геологічної будови території, характерною рисою якої є чергування глинистих та піщаних шарів. Величезний вплив на розвиток зсувних процесів має також ріка Дніпро, спричиняючи розмив берегів [Беспалова, 2003; Молодых и др., 1986; Цапенко, 1948]. Типовий гідрогеологічний розріз дніпровських схилів території наведено на рис. 1

[Проміжний..., 2002]. Ситуація зі зсувами значно погіршилась після створення Київського (1964–1966) та Канівського водосховищ (1974–1976) – змінились рівні ґрунтових вод, піднявся рівень Дніпра і в результаті активізувались зсувні процеси.

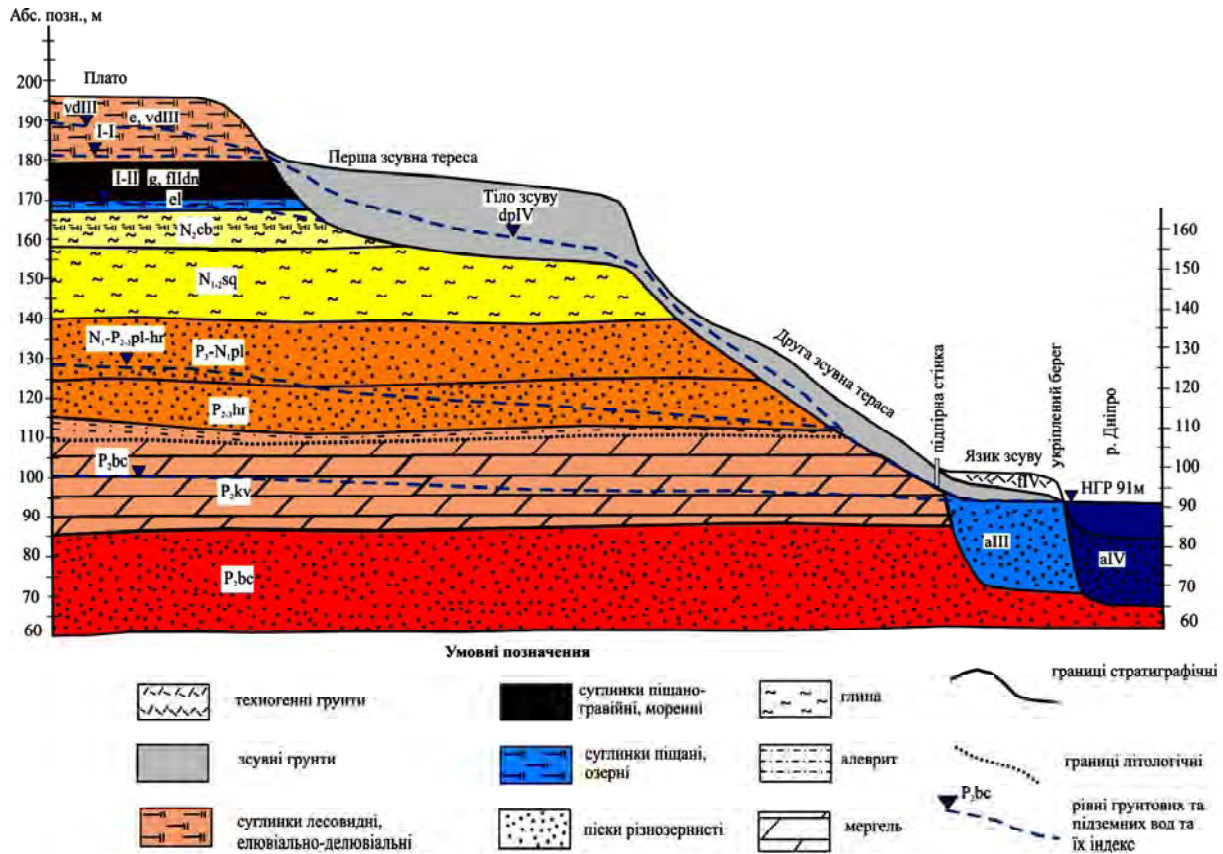
У нашій роботі розглянуто територію, яка безпосередньо прилягає до Київського водосховища – правий берег водосховища від м. Вишгород до с. Старі Петрівці. Для цієї території характерна однакова геологічна будова та гідрогеологічні умови, тому основні умови активізації зсувів для цієї території є однаковими. Наявність величезної штучно створеної водойми – Київського водосховища ще більше згладила кліматичні та гідрогеологічні фактори для прилеглої території.

Дослідження за зсувами зазначеної території виконуються давно. Офіційний каталог зсувів з даними про їх активізацію ведеться з 1975 р. Локалізацію зсувів на території наведено на рис. 1. Основні причини виникнення зсувів спільні – це наявність у розрізі бурих, строкатих і мергелистих глин, водоносний горизонт у харківських відкладах, перезволоження порід. Відмінність – у наявності водоносного горизонту в четвертинних відкладах, але цей горизонт має спорадичне поширення. Тобто можна зробити висновок про однотипні умови активізації зсувів території і можливість використання часових рядів активізації зсувних процесів правобережжя Київського водосховища для часового прогнозу такої активізації.

Умови і характер прояву зсувів, котрі відбуваються на правому березі дніпровських водосховищ, істотно відрізняються від аналогічних у межах Київської міської агломерації, де застосування комплексу протизсувних заходів загалом стабілізувало ці процеси.

Стійка рівновага схилів правобережжя Київського водосховища додатково порушується береговою абразією і залежить від міри переробки корінного берега та підніжжя наявних зсувів. Абразійно-зсувні процеси різні за умовами та характером прояву і формують різні за морфологією та параметрами форми рельєфу.

Зсувні схили водосховищ, через ряд специфічних впливів на них, відрізняються за структурою, морфометричними параметрами, формою поверхні тощо. У межах правобережжя Київського водосховища інженерно-геологічними обстеженнями охоплено 61 зсувну форму, які розташовані на площі 36,95 га.



**Рис. 1.** Типовий гідрогеологічний розріз дніпровських схилів для м. Києва та прилеглих територій:

$P_{2bc}$  – буцацька світа,  $P_{2kv}$  – київська світа,  $P_{2-hr}$  – відклади харківської серії,  $P_3-N_{1pl}$  – відклади полтавської серії,  $N_{1sq}$  – строкаті глини,  $N_{1cb}$  – бурі глини,  $el$  – нижньочетвертинні озерні суглинки,  $g, flIdn$  – середньочетвертинні відклади, представлені водно-льодовиковими під- і надморенними пісками,  $e, vdIII$  – верхньочетвертинні елювіальні та еолово-делювіальні відклади,  $aIII$  – верхньочетвертинні алювіальні відклади,  $aIV$  – сучасні алювіальні відклади,  $dpIV, fIV$  – зсувні породи

У наш час найперспективнішим вважається прогноз часу активізації зсувних процесів, оснований на уявленні про закономірну повторюваність більшості природних явищ, зокрема зсувів, на території земної кулі або окремих її частин [Методы..., 1984]. Така закономірна повторюваність проявів зсувів через певні інтервали часу, викликана впливом деякої сукупності природних і антропогенних факторів, називається ритмічністю. Під ритмом розуміють відрізок часу між двома закономірно повторюваними екстремальними значеннями активізації зсувного процесу на досліджуваній території.

Зважаючи на досвід досліджень у частині прогнозування зсувної активності, до основних об'єктивних часових факторів у регіональному плані варто відносити геліофізичні, метеорологічні, сейсмологічні, гідрогеологічні. Зазначені фактори можуть корелювати один з одним, хоча це й не обов'язково. Періоди кореляції, зазвичай, узгоджуються з активізацією зсувів. Тому питання з'ясування закономірності активізації зсувів – це питання закономірності розподілу корельованих ділянок їх рядів і рядів факторів.

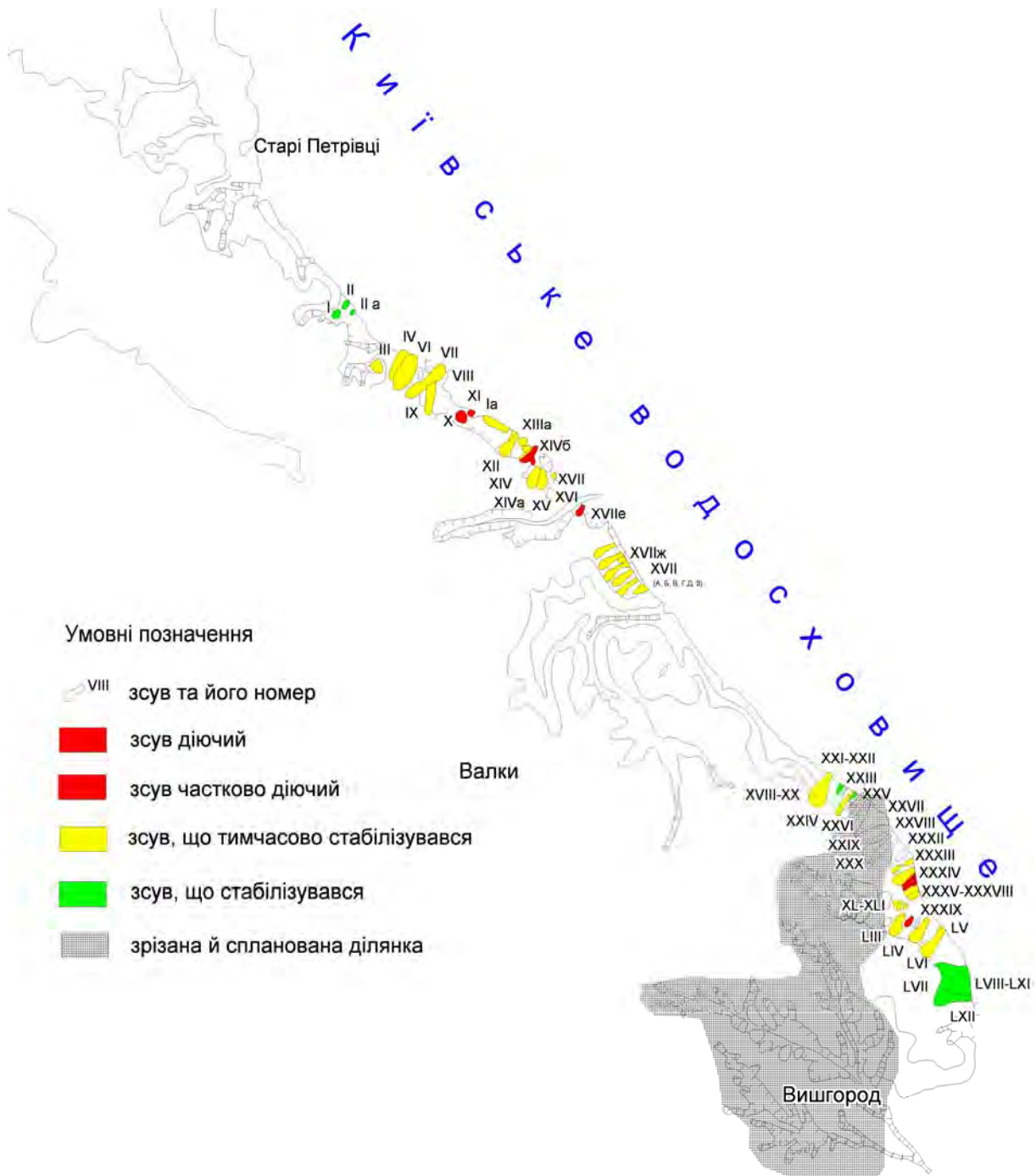
Ми опрацювали часові ряди зсувів, а також чинників їх активізації для території правого берега Київського водосховища, в результаті чого створено базу даних, в яку занесено часові ряди таких параметрів: активізації зсувів, атмосферних опадів, температури повітря, рівнів ґрунтових вод, витрат води у водосховищі, сонячної активності.

**Активність зсувів.** Часовий ряд активності зсувів складено на основі карт поширення зсувів та динаміки їх розвитку на правому березі Київського водосховища. На цих картах у часі показано динаміку 63 зсувів з 1976 до 2005 рр. Карта поширення та активності зсувних процесів на правобережжі Київського водосховища станом на 2005 р. наведена на рис. 2. Класифікація зсувів за активністю така: зсув, що стабілізувався, зсув, що тимчасово стабілізувався, зсув частково діючий, зсув діючий. Для забезпечення відображення цих оцінок у числовому вигляді класам присвоєно бали: зсув, що стабілізувався, – 0, зсув, що тимчасово стабілізувався, – 1, зсув частково діючий – 2, зсув діючий – 3. Значення балів для всіх зсувів певного року усереднювали. Довжина

часового ряду для зсувів становить 29 років (1976–2005 рр.). На рис. 3 наведено таблицю часових рядів активності зсувів.

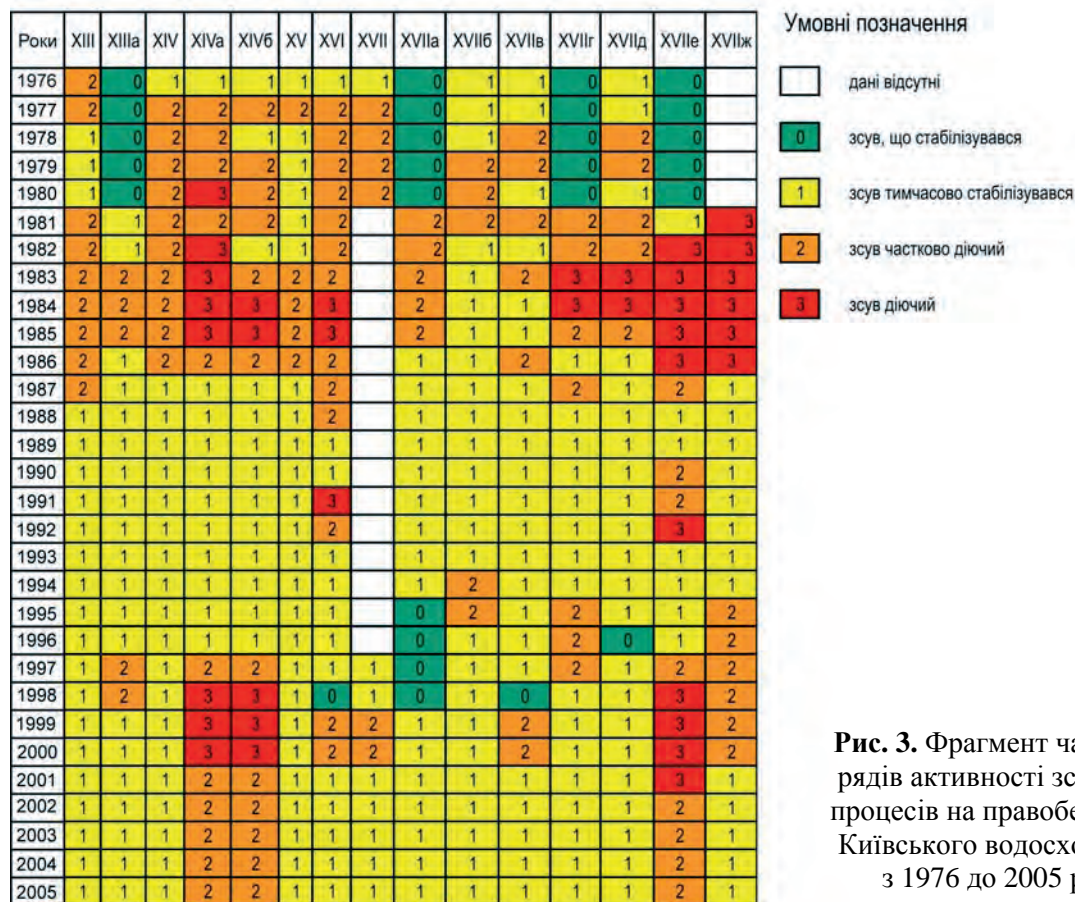
**Атмосферні опади та температура.** Вплив атмосферних опадів на активізацію зсувів описаний у багатьох літературних джерелах і сумнівів не викликає. Вплив середньорічних температур повітря на зсувну активність узгоджується з впливом температур на багаторічний хід річних сум опадів.

Проте, крім взаємовпливів температури й опадів, відзначимо відсутність закономірності в їхній кореляції, тобто зв'язок цей нестійкий. Тому температурний фактор враховується в часовому розподілі зсувів як незалежний. Із загальних фізичних міркувань цей фактор додатково впливає на зсувну активність у зв'язку з впливом на стан снігового покриву і танення снігу, а також на вивітрювання гірських порід.



**Рис. 2.** Карта поширення й активності зсувних процесів на правобережжі Київського водосховища (станом на 2005 р.)





**Рис. 3.** Фрагмент часових рядів активності зсувних процесів на правобережжі Київського водосховища з 1976 до 2005 рр.

Для досліджень ми відібрали часові ряди опадів та температури за даними метеостанцій, розташованих у Київській області на правому березі р. Дніпра: Київ, Чорнобиль, Тетерів, Поліське. Розраховано річну кількість опадів та середньорічну температуру.

**Рівні ґрунтових вод.** Визначають ступінь зволоженості зсувних порід, тобто набуття ними надлишкової ваги, та зміну їх фізико-механічних властивостей. Територія за структурним гідрогеологічним районуванням належить до Київсько-Поліського гідрогеологічного району. В межах Київської області існує 50 свердловин для спостереження за рівнями підземних вод на різних водоносних горизонтах. Ми проаналізували всі бази даних по цих свердловинах і для створення часового ряду щодо рівнів ґрунтових вод відібрано бази даних по 9 свердловинах (№ 245620450, № 245380681, № 245500084, № 245500085, № 245010017, № 245360775 № 245360776, № 245360782, № 245360783), для яких існують найповніші ряди спостережень, зокрема, стосовно четвертинного водоносного горизонту. Розраховано середньомісячні значення для кожної свердловини. На наступному етапі виберемо оптимальний ряд за рівнями ґрунтових вод, який буде найрепрезентативнішим для цієї зсувної території.

**Витрати води з Київського водосховища.** Опосередковано визначають поверхневий стік за рахунок опадів та інтенсивність фільтрації ґрунто-

вих вод, що впливає на активізацію зсувів, проте не враховується жодним із названих вище факторів.

**Сонячна активність.** Механізм цього впливу досі не вивчений. Зв'язок сонячної активності з активізацією зсувів здійснюється опосередковано, передаванням енергії, а також через вплив на клімат Землі, насамперед на закономірності циркуляції повітряних мас, опади, температуру. Ряд сонячної активності є одним для всієї планети. Він описується числами Вольфа, числовим показником кількості плям на Сонці. Узгальнення всіх даних щодо сонячної активності проводиться в центрі аналізу даних відносно впливу Сонця (Бельгія). Ми внесли в базу даних значення для чисел Вольфа з 1960 до 2010 рр.

**Методика і результати досліджень**

У загальному формулюванні завданням, на розв'язання якого спрямоване наше дослідження, є регіональний прогноз виникнення або активізації зсувів, який дозволяє на основі комплексних досліджень дії основних відомих часових факторів на кількісному імовірнісному рівні обґрунтувати можливість їх активізації.

Поставлена задача розв'язується, а технічний результат досягається за рахунок того, що проводиться оцінка комплексної дії сукупності факторів на процеси активізації зсувів із формуванням еталонної характеристики розподілу часових факторів для прогнозованої території та за еталонними

характеристиками визначається величина ймовірності інтегрального показника небезпеки активізації зсувів з урахуванням встановленої закономірності розвитку зсувів у зв'язку з цими факторами.

Послідовність дій під час аналізу часових рядів чинників зсувної активності така [Кузьменко, 2007]:

- вибір основних факторів впливу на зсувну активність для цього регіону;
- розрахунок автокореляційних функцій часових рядів з метою виявлення головних періодичних складових для окремих часових факторів;
- побудова періодограм часових рядів для окремих факторів із застосуванням спектрального аналізу з метою виявлення основних гармонік і прихованих періодичностей;
- розрахунок взаємкореляційних функцій для окремих пар часових факторів з метою виявлення їх максимально можливих кореляцій при відповідних зміщеннях однієї випадкової функції відносно іншої; встановлення ступеня наявності суттєвої кореляції;
- розрахунок матриці парних коефіцієнтів кореляції між оптимально зміщеними рядами факторів;
- розрахунок коефіцієнтів інформативності для кожного фактора на основі матриці парних коефіцієнтів кореляції з метою їх використання під час розрахунку надалі інтегральної функції комплексного показника активізації зсувних процесів.

У попередньому розділі наведено перелік факторів, які внесені в базу даних для створення часового прогнозу. Для кожного фактора є певна кількість часових рядів, що для метеофакторів визначається кількістю метеостанцій, найближчих до території досліджень, для рівнів ґрунтових вод – кількістю свердловин. Далі розглянемо окремо часові ряди для кожного фактора.

**Активність зсувів.** Як зазначено у попередньому розділі, довжина часового ряду спостережень за активністю зсувних процесів – 30 років, з 1976 до 2005 рр. На рис. 4 наведено графіки часових рядів активності зсувних процесів. Гра-

фіки побудовано на основі даних рис. 3 усередненням балів, присвоєних зсувам за роками. Ряди на графіках з назвами “Активність зсувів (бали 0–3)” та “Активність зсувів (бали 0–2)” містять дані щодо всіх показаних на рис. 2 зсувів, у спостереженнях за якими відсутні суттєві розриви (більше за 6 років). Відмінність між ними полягає у різній бальній класифікації.

У першому випадку присвоєно такі бали: зсув, що стабілізувався, – 0, зсув, що тимчасово стабілізувався, – 1, зсув частково діючий – 2, зсув діючий – 3; в другому – зсув, що стабілізувався, – 0, зсув частково діючий – 1, зсув діючий – 2. Як бачимо з графіків, особливого впливу на відображення періодів активізації різна бальна оцінка не чинить. Ряди з назвами “Активність зсувів XVII” та “Активність зсувів XXV-XLI” побудовані за зсувами з відповідною нумерацією. Так, у ряд “Активність зсувів XVII” входять зсуви з номерами XVII а, б, в, г, д, ж, е. Ця група зсувів є найближчою до досліджуваної ділянки. Достатньо навіть візуального аналізу, щоб побачити окремі спільні періоди активізації зсувів для різних варіантів їх групування у 1983–1985 та 1999–2000 роках. Для прогнозування і подальшої статистичної обробки вибираємо узагальнювальний ряд “Активність зсувів (бали 0–2)”. Розрахована автокореляційна функція для вказаного ряду зсувів показала, що основним періодом активізації зсувних процесів є період у 16 років.

Щодо досліджуваної території, то в літературі згадуються 1969 та 1985 роки активізації зсувів, тобто в межах побудованих нами рядів можна стверджувати про спільну активізацію зсувів правого берега Київського водосховища у 1985 р. З цього факту випливає, що, по-перше, зсуви 1969 та 1985 років не є випадковими, по-друге, використання для аналізу всіх зсувів Київського водосховища доцільне з погляду достатнього набору даних для статистичного аналізу. Тепер залишається фізично обґрунтувати виявлену закономірність.

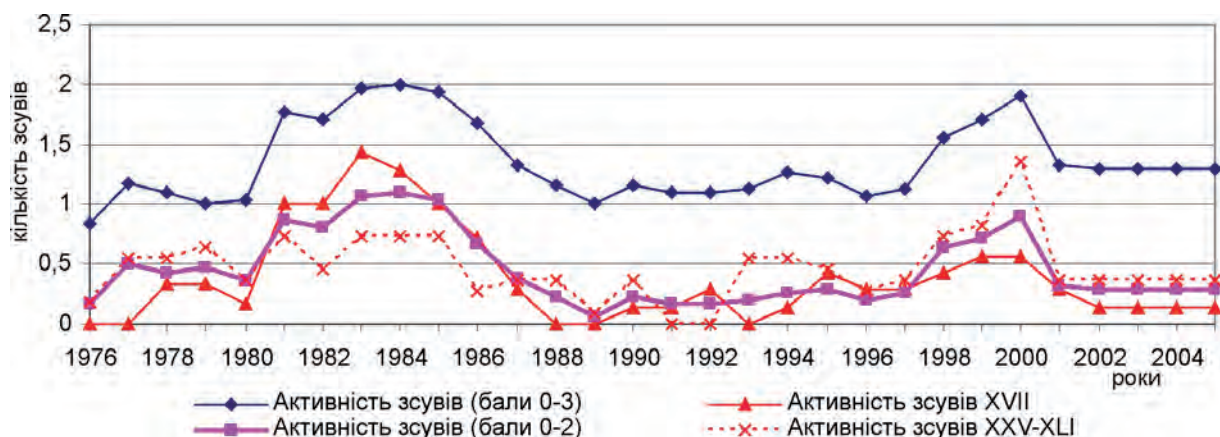


Рис. 4. Графіки часових рядів активності зсувних процесів на правобережжі Київського водосховища

**Атмосферні опади і температура.** Для середньорічних температур вибраних метеостанцій Київської області розраховано коефіцієнти кореляції між рядами, які змінюються у межах 0,89–0,98. В подальшій обробці використовуємо часовий ряд середньорічної температури по метеостанції Київ. Цей графік має пилкоподібний вигляд, тому доцільним є згладжування ряду за допомогою усереднення методом ковзного середнього. Розраховані автокореляційні функції для незгладженого та згладженого рядів середньорічної температури вказують на ритмічність у 8 та 17 років, причому для згладженого ряду вона більш виражена. Розраховані коефіцієнти кореляції для графіків річних сум опадів метеостанції Київської області змінюються в межах 0,68–0,78. В подальшій обробці використовуємо часовий ряд річної кількості опадів для метеостанції Київ, який є найповнішим.

Як і для температури, з метою покращення виявлення періодичності в ряді проведено згладжування ряду річної кількості опадів за допомогою методу ковзного середнього. Як видно з побудованих автокореляційних функцій, у ряді річної кількості опадів спостерігається ритмічність у 10–11 та 19 років, причому для згладженого ряду вона виразніша.

**Рівні ґрунтових вод.** Дані щодо рівнів ґрунтових вод взяті для окремих гідрогеологічних свердловин у межах Київської області. Далі необхідно на основі наявних рядів підібрати ряд, який би максимально узгоджувався зі зсувними процесами на території досліджень, не порушувався режим вод. Звичайно, найближчою до досліджуваної території і з найповнішим рядом спостережень є свердловина № 245010017, але для того, щоб обґрунтовано взяти цей ряд для аналізу, треба провести додатковий аналіз даних. Для цього було побудовано автокореляційні функції для різних свердловин. Побудовані автокорелограми дозволяють зробити певні висновки.

Активність зсувів найкраще обернено корелює з рядом свердловини № 245010017 – коефіцієнт кореляції  $-0,29$  (обернена кореляція означає що при найближчому рівні ґрунтових вод до поверхні відбувається максимум зсувів), тому доцільно взяти як репрезентативну свердловину для цього району свердловину № 245010017. На інших свердловинах відмічається наявність трендів, які зумовлені порушенням режимом підземних вод, або відсутні ритмічні складові, що знов-таки вказує на порушений режим.

**Числа Вольфа.** Щодо рівнів сонячної активності чи чисел Вольфа, то їх вплив на екзогенні процеси доведений. Ряд є ритмічним з періодом у 10–11 років.

**Витрати води.** Витрати води для Київського водосховища, на нашу думку, теж слід вважати вагомим фактором часового перебігу зсувних процесів правобережжя водосховища. Витрати води по-

в'язані з модулем стоку, в який входять такі фактори, як поверхневий та підземний стік з басейну і який прямо пов'язаний з фільтраційними процесами, від яких залежить активність зсувів. Відповідно до розрахованої автокореляційної функції, основними ритмами у витратах води є 11 та 19 років.

#### ***Визначення комплексної дії різних часових факторів для часового прогнозу зсувів***

Зсувний процес – це складна багатокомпонентна система, розвиток у часі якої контролюється сукупністю різноманітних факторів. Цю сукупність факторів пропонуємо виражати у вигляді комплексної величини – інтегрального показника. Вище ми визначили перелік факторів, а також конкретні часові ряди, на основі яких буде здійснюватись комплексна оцінка часової закономірності розвитку зсувних процесів. Далі за допомогою статистичних методів необхідно дослідити комплексний вплив цих факторів на активізацію зсувних процесів

Як буде показано нижче, всі процедури з аналізу часових рядів виконано, а отримані результати свідчать, що існують закономірності в процесах, які сприяють активізації зсувів на правобережжі Київського водосховища.

Візуального аналізу графіків достатньо, щоб помітити наявність незначних лінійних трендів у рядах середньорічної температури, рівнів ґрунтових вод та атмосферних опадів, які слід вилучити. Тому в подальшому аналізі ці ряди беруть участь за відсутності лінійних трендів.

Наступний етап – процедура нормалізації, яка має за мету трансформацію величин факторних характеристик, виражених у фізичних величинах, отриманих з аналізу карт або рядів їх розподілу (міліметр суми опадів, градус Цельсія, Джоуль енергії землетрусів тощо) у безрозмірні показники контрастності, з якими далі можна проводити математичні операції. Зазначена нормалізація кожного з досліджуваних факторів зводиться до розрахунку безрозмірного масиву або ряду контрастності кожного фактора, нормованого за середньоквадратичним відхиленням.

Після процедури нормалізації були побудовані автокореляційні функції за часовими рядами факторів та зсувної активності. Також для виявлення періодів основних гармонік розраховано періодограми для часових рядів кожного фактора за даними спектрального аналізу.

Побудовані автокореляційні функції та періодограми дозволили визначити основні періодичні складові в часових рядах (табл. 1). Всі вибрані чинники є квазігармонічними, тобто в усіх є періодичні процеси. У рядах річної кількості атмосферних опадів, чисел Вольфа, середньорічної витрати води наявна 10–11-річна складова. 8- та 16-річні ритми наявні в рядах активності зсувів, середньорічної температури.

Процедури розрахунків функції взаємної кореляції дозволили оцінити максимальний ступінь парної кореляції між часовими рядами (фрагментами функцій) і визначити величину зміщення (лаг) для часового узгодження всіх факторів між собою. Природно, що як фіксований ряд було прийнято річну зсувну активність. Результати розрахунків дали змогу визначити величину лага (табл. 2).

Таблиця 1

**Основні періоди коливань значень часових рядів потенційних факторів впливу на зсувну активність за результатами аналізу АКФ**

№ з/п	Параметр	Значення періоду, років
1	Активність зсувів	16
2	Річна кількість опадів	10–11, 19
3	Середньорічна температура	8–9, 17
4	Числа Вольфа	10–11
5	Рівень ґрунтових вод	12–13
6	Середньорічні витрати води	6, 10–11, 18–19

Таблиця 2

**Величини зміщень (лаг) функцій факторів відносно ряду річної зсувної активності**

№ з/п	Фактор	Значення зміщення (лаг), років
1	Річна кількість опадів	протифаза
2	Середньорічна температура	+1
3	Число Вольфа	+3
4	Рівень ґрунтових вод	+2
5	Середньорічні витрати води	+1

Після відповідних зміщень часових рядів один відносно іншого були виконані процедури статистичного аналізу даних з метою виявлення факторів, що дублюються, або таких, які є малоєфективними для подальшого використання як чинників зсувної активності.

Зокрема, розраховано дендрограму евклідових відстаней між окремими факторами за результатами кластерного аналізу методом попарного зваженого усереднення.

Зазначена дендрограма дозволила виявити групу факторів (рівні ґрунтових вод – річна кількість опадів), тісніше (порівняно з іншими) пов'язаних між собою, що підтвердилось і результатами факторного аналізу методом головних компонент. Незважаючи на деяку статистичну спільність факторів – “рівні ґрунтових вод – річна кількість опадів – середньорічні витрати води” (кластерний аналіз), на нашу думку, вони містять досить різну інформацію за своєю природою, і вилучення з подальших досліджень будь-якого фактора є недоцільним.

Підкреслимо, що виявлена група основних факторів за результатами аналізу методом головних компонент має спільність і щодо періодичності, що виявилось раніше. Наведені фактори є основними

чинниками активізації зсувних процесів серед розглянутих. У подальшій роботі використаємо їх під час розрахунків функції інтегрального (комплексного) прогнозного показника.

Отже, метою кластерного та факторного аналізів у нашому випадку є, по-перше, підтвердження значущості факторів, що ініціюють зсуви, по-друге, встановлення та виключення факторів, що дублюються і, по-третє, групування. Результати свідчать про істотне розходження в поведінці різних параметрів та загалом про різноспрямовані внески досліджуваних факторів у сумарну дисперсію ознак.

**Часовий прогноз активізації зсувного процесу**

З метою розрахунку сумарного показника зсувної активності були виконані процедури визначення власних вагових коефіцієнтів для кожного з чинників, які раніше ми назвали коефіцієнтами інформативності. У табл. 3 наведено результати розрахунків ступеня інформативності кожного з чинників у відсотках відносно всіх розглянутих змінних.

Таблиця 3

**Результати розрахунків інформативності кожного з факторів**

Фактор	Ваговий коефіцієнт інформативності в розрахунках, %
Рівень ґрунтових вод	19,4
Активність зсувів	19,3
Річна кількість опадів	19,0
Середньорічна температура	14,7
Середньорічна витрата води	14,2
Числа Вольфа	13,5

Отже, суттєвими за результатами попередніх аналізів і за значеннями коефіцієнтів інформативності виявляються такі часові фактори: зсувна активність, рівень ґрунтових вод, середньорічна температура повітря, середньорічна витрата води, числа Вольфа, річна кількість атмосферних опадів. Домінуючих окремих факторів немає.

Для об'єктивності аналізу та подальшого прогнозу опрацьовано варіант розрахунку інформативності факторів без урахування активності зсувів. Результати наведено в табл. 4. З даних таблиці випливає, що попередні висновки підтверджуються.

Наступним етапом розрахунків є визначення інтегрального показника з урахуванням коефіцієнтів, наведених у табл. 3. Зазначимо, що внаслідок обмеженої протяжності рядів розрахунку та висновки, наведені у статті, мають імовірнісний характер. При надходженні інформації щодо часових чинників активізації зсувів у наступні роки прогнозні оцінки щодо активізації зсувів та розрахунку інтегрального показника з їх екстраполяцією в часі можуть уточнюватись.

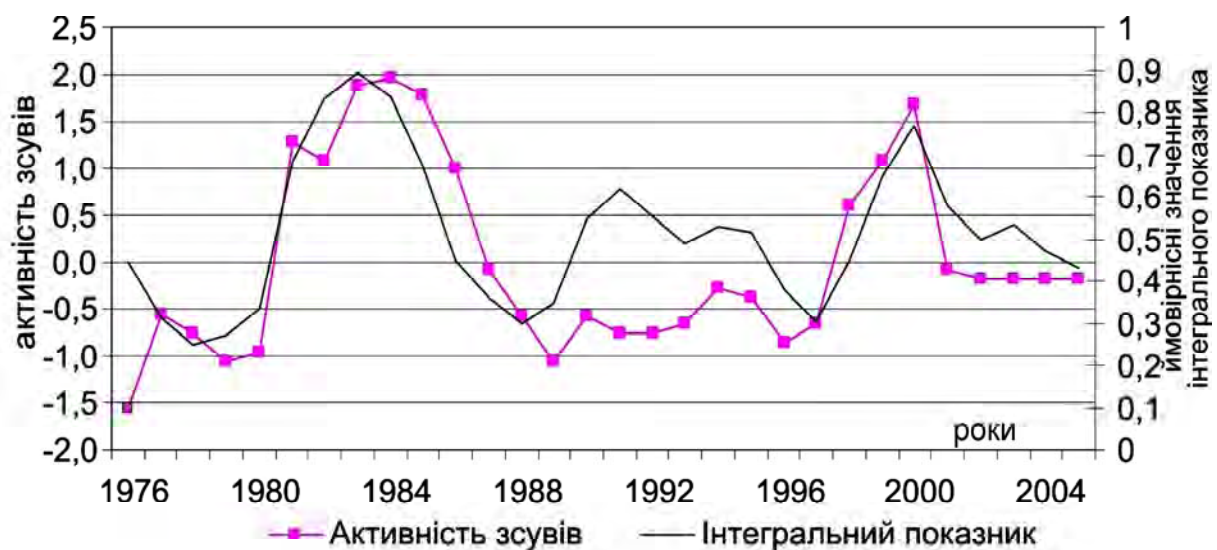


Таблиця 4

**Результати розрахунків інформативності кожного з факторів (варіант 2)**

Фактор	Ваговий коефіцієнт інформативності в розрахунках, %
Рівень ґрунтових вод	20,9
Річна кількість опадів	23,6
Середньорічна температура	21,5
Середньорічна витрата води	17,0
Число Вольфа	17,0

На рис. 5 наведено окремо інтегральний показник, безрозмірні значення якого переведені в імовірність, та ряд активності зсувів.



**Рис. 5.** Часові ряди активності зсувів та імовірнісних значень інтегрального показника

На рис. 6 наведено екстрапольовані прогностні ряди прогностного показника – ймовірності активізації зсувів, одержаного усередненням імовірнісних значень інтегрального показника та за допомогою функції передбачення predict програмного пакета MathCAD. Ця функція використовує лінійний алгоритм передбачення, який є корисним, коли функція, що екстраполюється, є плавною і осцилюючою, хоча не обов’язково періодичною.

Функція predict використовує останні  $m$  вихідних значень даних, щоб обчислити коефіцієнти передбачення. Як тільки це зроблено, вона використовує останні  $m$  точок, щоб передбачити координати  $(m+1)$ -ї точки, фактично створюючи ковзне вікно шириною в  $m$  точок.

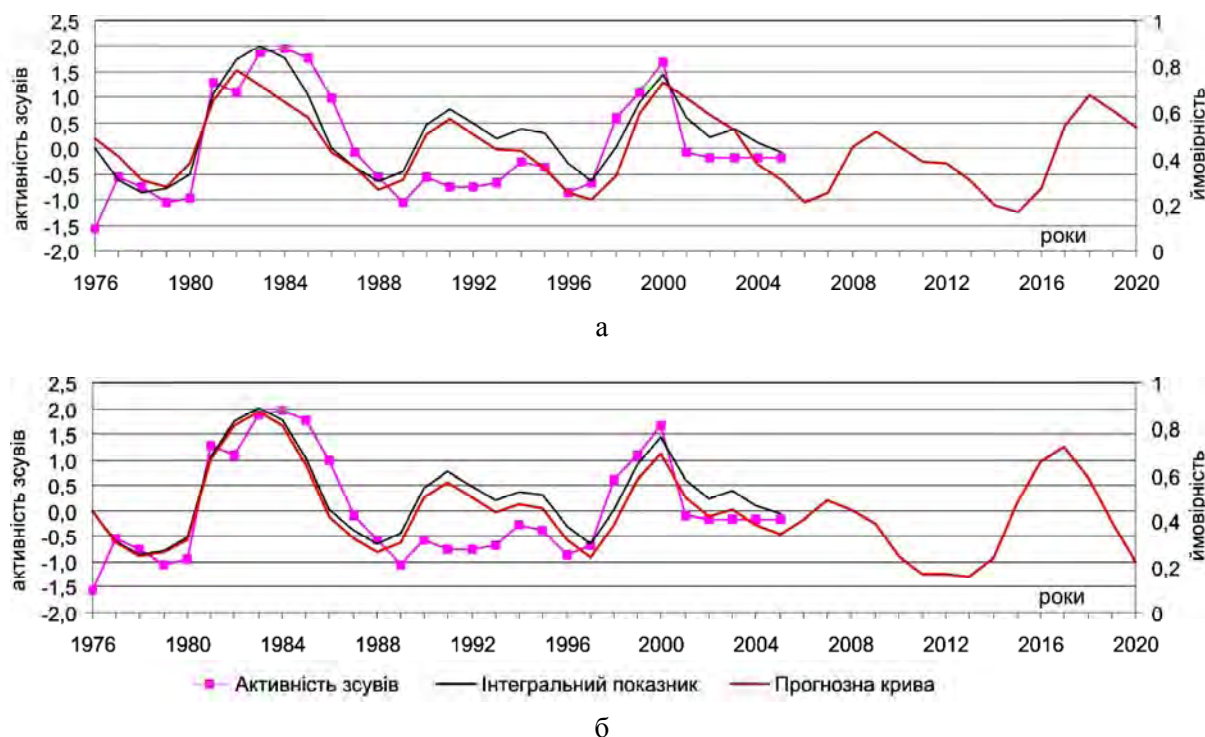
Відповідно до наведених вище прогностних рядів, активізації зсувів слід чекати у 2016–2018 роках. Імовірність такої активізації 0,7–0,75, проте вона збільшується до 0,83–0,86 при вилученні тренду.

Розрахований нами інтегральний показник має основну ритмічність у 16–17 років. Активізація зсувів у 1981–1985 та у 1998–2000 роках підтверджує цей факт (рис. 6). Проте звернемо увагу на

з використанням функції Лапласа на основі розрахованих даних інтегрального показника побудовано ряди прогностної ймовірності активізації зсувів. Екстраполяція рядів проводилась осередненням інтегрального параметра. Розрахувавши автокореляційну функцію для ряду інтегрального показника, ми визначили його періодичність, яка становить 9 та 17–18 років. Наявність таких гармонік має фізичне пояснення, зазначені періоди наявні в рядах середньорічної температури та середньорічних витрат води водосховища. Результати розрахунку інтегрального показника без урахування активності зсувів не змінюють загальної картини ритмічності, в цілому зберігаючи зазначену періодичність, при цьому підсилюється 9-річна складова.

дві речі: наявність ритмів у 9–13 років у чотирьох факторів (табл. 1) та ритмічність комплексного показника, крім 17, у 9–10 років. У інших регіонах України (наприклад, Карпати з прилеглими прогінами [Кузьменко та ін., 2005]) встановлена ритмічність становить 10–11 років. Припустимо, що така ритмічність існує для території досліджень – правобережжя Київського водосховища. Тоді для 16–17-річного ритму маємо активізацію у 1981–1985 рр. (факт), 1998–2000 рр. (факт), 2016–2018 рр. (прогноз), а для 10–11-річного ритму – у 1984–1985 рр. (факт), 1994–1995 рр. (факт незначної активізації), 2005–2006 рр. (немає даних), 2016–2017 рр. (прогноз). Коли 10–11- та 16–17-річні ритми накладаються, активізація є значною (1984–1985 роки). У 2016–2018 рр. цикли знову накладатимуться. Високої активізації, отже, слід очікувати раз на 32–34 роки, адже два 16–17-річні цикли дорівнюють трьом 11-річним. Підкреслимо, наведені припущення базуються на фактичних даних, проте треба зважати, що прогноз має імовірнісний характер. Надійність його зростатиме з роками у міру накопичення даних.





**Рис. 6.** Прогнозні ряди розрахованого показника – ймовірності зсувів:  
а – прогноз усередненням ряду; б – прогноз за допомогою функції передбачення predict програмного пакета MathCAD

### Висновки

1. У роботі розглянуто основні умови формування зсувних процесів на схилах Київського водосховища та подано характеристику геологічних та гідрологічних умов району досліджень.

2. Простежено процес активізації зсувів на схилах Київського водосховища в період 1976–2005 рр. Доведено, що зазначений процес з фізичного погляду пов'язаний з рядом природних та техногенних зсувоініціюючих факторів, а саме: метеофакторами (температура повітря, річна кількість опадів), рівнями ґрунтових вод, витратами води у водосховищах, сонячною активністю.

3. Проаналізовано часові ряди зсувів та ініціюючих факторів і доведено, що всі вони мають певну ритмічність. Основними ритмами є 10–12 та 16–17 років. Усі зазначені в п. 2 фактори корелюють між собою, що дає підставу для визначення інтегрованого показника активізації зсувів та імовірнісної оцінки такої активізації.

4. Під час прогнозу розвитку зсувів визначено, що основні ритми зсувної активності – 16–17 років. Усі ритми містяться в періоді 32–34 роки – це найдовший ритм виявленої кореляції, у якому накладаються періоди в 16–17 та 10–12 років. Тому можна очікувати значної активізації раз на 32–34 роки і слабшої – раз на 16–17 років. Відповідно до розрахованих прогнозних кривих нової значної активізації слід очікувати у 2016–2018 рр. Ймовірність такої активізації 83–86 %.

### Література

- Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов: научное открытие / Кузьменко Э.Д., Крыжановский Е.И., Карпенко А.Н., Журавель А.М.; диплом № 310 // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2006. – М.: МААНОИ, 2007. – С.64–65.
- Беспалова О.М. Динаміка зсувного процесу Середнього Придніпров'я на прикладі ділянки Трипілля–Канів: автореф. канд. дис... – Київ: ІГН НАНУ, 2003. – 24 с.
- Іванік О.М. Оцінка факторів зсувоутворення у межах Карпатського регіону на основі ГІС-аналізу // Вісн. КНУ ім. Т.Шевченка. Сер. “Геологія”. – 2008. – Вип. 45. – С. 56–59.
- Іванік О.М. Просторовий аналіз та прогнозна оцінка формування водно-гравітаційних процесів на основі ГІС у Карпатському регіоні // Геоінформатика. – 2008. – № 4. – С. 52–58.
- Кузьменко Э.Д. Универсальный алгоритм прогнозирования экзогенных геологических процессов // Матеріали VIII Міжнар. наук. конф. “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. – Київ: КНУ ім. Т.Шевченка, 2007. – С. 16–17.
- Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення на-

- дійності експлуатації трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С. 24–35.
- Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов / Под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова. – М.: Недра, 1984. – 167 с.
- Молодых И.И. Молодых Ив.И. Абразионно-оползневые явления Среднего Днепра в связи с разработкой вопросов окружающей среды. – Киев, 1986. – 56 с.
- Проміжний звіт по оцінці зсувонебезпечності та стійкості підгрунтя важливих інженерних споруд та історико-культурних пам'яток на правобережному схилі р. Дніпро в м. Києві / А.П. Гончарук та ін. – Київ, КДГП “Геосервіс”, 2002. – 205 с.
- Цапенко В.Л. Методика изучения основных сил, вызывающих оползни третьего типа // Материалы по геологии и гидрогеологии. – Киев. – 1948. – № 4. – С. 101–115.
- Materials of proceedings 33rd International Geological congress. 6-14th august 2008. Oslo, Norway.

### ДОЛГОСРОЧНИЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЇ АКТИВНОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ КИЄВСЬКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Э.Д. Кузьменко, И.В. Чепурный, Е.А. Никиташ, Л.В. Штогрин

Статья посвящена исследованию оползневых процессов на территории правобережья Днепра в пределах Киевского водохранилища. На основе учета комплексного влияния метеорологических, геофизических, гидрогеологических, гидрологических факторов развития оползневых процессов во времени осуществлено долгосрочное временное прогнозирование до 2020 года.

**Ключевые слова:** оползни; правобережье Киевского водохранилища; временные факторы; автокорреляция; прогноз; экстраполяция.

### THE LONG-TERM TEMPORAL PREDICTION OF THE LANDSLIDES ACTIVITY IN THE RIGHT BANK OF KIEV RESERVOIR

E.D. Kuzmenko, I.V. Chepurnyj, E.A. Nikitash, L.V. Shtogrin

The article is devoted to the investigations of the landslide processes on the right bank of Dnipro within Kyiv reservoir. The long-term temporal prediction of landslides to 2020 based on consideration of the complex influence of meteorological, geophysical, geological and hydrological factors of landslides development in the time have been done.

**Key words:** landslides; right bank of Kiev reservoir; temporal factors; autocorrelation; prediction; extrapolation.

---

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ

Надійшла 30.03.2012

<sup>2</sup>Державна екологічна інспекція у м. Києві, м. Київ