

**МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ ПІДТОПЛЕННЯ  
НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ “ЕКСПОЦЕНТР УКРАЇНИ”**

© С.А. Вижва, І.І. Онищук, І.В. Цюпа, 2010

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

The analysis of the current state is made and the underflooding processes on the territory of “Expocenter of Ukraine” with the use of modern GIS-technologies are assessed. There were connections established between the variation of geophysical parameters and the level of subsoil water. Geoelectric parameters of the shallow and geological-geophysical model according to the monitoring data of the level of subsoil water in typical conditions of the urban agglomeration (Kyiv) are given. Maps of the lines of equal depths to the level of subsoil water according to the investigated data for the different periods of the exhibition center exploitation are charted.

**Keywords:** GIS technology, geophysical research, the level of groundwater, flooding processes.

**Вступ.** Національний комплекс “Експоцентр України” (НКЕУ) – одна з найбільших державних виставкових установ України – організатор міжнародних та національних виставок і ярмарків, потужний демонстраційний центр досягнень України в економічній, науковій, виробничій та гуманітарній галузях.

Із самого початку будівництва (будували комплекс 6 років на місці невеличкого приміського хутірця Червоний Трактир з 1951 р.) на території спостерігалось підвищення рівня ґрунтових вод. У зв’язку з цим протягом 1951–2000 рр. проводили комплексні геолого-геофізичні дослідження з метою вивчення причин та прогнозу розвитку процесів підтоплення. Роботи з вивчення підтоплення у центральній частині Експоцентру виконував інститут “Гіпроград” у 1961 р., з 1987 р. – Дніпровська геолого-геофізична експедиція. Були застосовані методи мікроелектрозондування (МЕЗ), заломлених хвиль (МЗХ), буріння неглибоких свердловин з визначенням глибин залягання ґрунтових вод, підготовлені звіти і рекомендації щодо покращання ситуації. Незважаючи на вживані заходи, проблема підтоплення території НКЕУ залишається актуальною і до кінця не вивченою і на цей час. На кафедрах геофізики, гідрогеології та інженерної геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка (КНУ) розроблена база даних геолого-геофізичної інформації стосовно території НКЕУ. Зазначена робота є прикладом використання сучасних ГІС-технологій для виявлення тенденцій розвитку процесів підтоплення та розробки системи моніторингу за станом геологічного середовища.

**Геолого-гідрогеологічні особливості території та їх вплив на процеси підтоплення.** Виставковий центр діє з 1958 р. Це комплекс павільйонів і

споруд (180 будинків і споруд, 20 з яких отримали статус історико-культурних пам’яток України), відкритих майданчиків для показу експонатів, будівель культурно-побутового призначення та місць відпочинку [1].

Експоцентр України географічно розташований у заповідному Голосіївському лісі на південному заході м. Києва. Загальна площа території 286,3 га, з них: понад 48 га – забудовані землі; 234,8 га – садово- та лісопаркова зони; 3,5 га – ставки й озера.

Територія НКЕУ належить до Поліської низини (генетично це моренно-зандрова рівнина). Вона складена середньочетвертинними надзаплавними флювіогляціальними відкладами, на яких залягають верхньочетвертинні та сучасні відклади, поширені також техногенні утворення. Флювіогляціальні відклади на глибині 12–15 м підстилаються червоно-бурими, строкатокольоровими глинами. Середньочетвертинні відклади представлені трьома генетичними типами порід – підморенними, льодовиковими і надморенними. Переважають різнозерністі піски, суглинки, супіски; моренні відклади збагачені також уламковим матеріалом – галькою, валунами. Загальна потужність середньочетвертинних утворень до 20 м [2].

Верхньочетвертинні відклади представлені породами еолово-делювіального, алювіального і озерно-алювіального походження. Це переважно суглинки, піски з прошарками галечників і супісків, іноді глин. Їх загальна потужність 10–15 м. Сучасні утворення розвинуті повсюди, до них належать еолові відклади – дрібно- і середньозерністі піски потужністю до 0,3–10 м.

Водоносні горизонти поширені практично в усіх описаних вище утвореннях. Живлення цих горизонтів відбувається за рахунок атмосферних

опадів, дренаж (розвантаження) здійснюється річками і яро-балковою мережею. За відсутності значних за розмірами водотривів горизонти практично безнапірні і гідравлічно пов'язані один з одним. Винятком є лише локальні ділянки розвитку глин, де гідравлічний зв'язок дуже слабкий і води стають слабонапірними. Хімічний склад підземних вод строкатий внаслідок їх безпосереднього зв'язку з поверхневими водами. За цією ж причиною води середньочетвертинних і сучасних відкладів часто забруднені. Режим підземних вод непостійний і залежить від пори року, кількості атмосферних опадів тощо. Води в сучасних утвореннях, які найбільш впливають на підтоплення території, вирізняються особливою нестабільністю режиму. Рівні ґрунтових вод у межах центральної частини НКЕУ зафіксовані на глибині від 0,5 до 6 м. Такий перепад рівнів на порівняно невеликій за величиною площі пов'язаний із впливом техногенних факторів.

Підтоплення – це природно-техногенний процес, що має прояви у певних умовах природного середовища (у тім числі на міських територіях) унаслідок спільного впливу причин і факторів як природного, так і техногенного походження, коли за розрахунковий період часу збільшується вологість ґрунтів або піднімається рівень ґрунтових вод (РГВ) до граничних значень, за якими порушуються безпечні умови будівництва та експлуатації будинків і споруд, пригнічуються та гинуть зелені насадження. Основними природними умовами, за яких формується процес підтоплення, є наявність слабопроникних ґрунтів і прошарків у верхній частині розрізу, відносно близьке розміщення водотривкого шару до земної поверхні, слабка дренаваність територій та несприятливі кліматичні умови.

Техногенний вплив, що призводить до активізації процесів підтоплення, зумовлений зміною позначок поверхні (плануванням) міських територій, погіршенням природної дренаваності, ефектом екранування потоків вологи, незадовільним функціонуванням у населених пунктах зливової каналізації та інших систем водовідведення, значними втратами води в системах водопостачання тощо.

За ДБН України, до підтоплених належать території, де внаслідок господарської діяльності людини і природних факторів РГВ піднявся до граничнодопустимих, критичних, глибин і при цьому відбуваються несприятливі зміни навколишнього середовища. Для територій промислового і цивільного будівництва глибина до РГВ дорівнює 5 м, а на ділянках розвитку лесових порід зростає до 10 м. Для ділянок зелених насаджень (фруктові дерева, сільськогосподарські угіддя) критична глибина до РГВ становить 1,0–1,5 м [3].

Слід зазначити, що з процесами підтоплення пов'язані несприятливі зміни водно-фізичних і механічних властивостей ґрунтів та порід зони аерації і водоносного горизонту. Значне збільшення вологості глинистих порід призводить до їх набухання, внаслідок чого відбуваються неоднорідна деформація ґрунтів, просадка фундаментів будівель, зменшення їх експлуатаційної надійності.

Під час вивчення підтоплення розглядають різноманітні фактори (причини, джерела) підтоплення: геолого-гідрогеологічні, кліматичні, техногенні. Важливу роль у формуванні підтоплення відіграють геологічні фактори – літологічний склад і фільтраційні властивості порід (ґрунтів), які складають верхню частину розрізу (ВЧР), до глибин 5–10, іноді до 20 м [2, 3]. Найінтенсивніше підтоплення розвивається на ділянках, складених лесоподібними і, особливо, моренно-лесовими утвореннями. Досить сприятливою для формування підтоплень у цьому відношенні є моренно-зандрова рівнина (у тім числі територія НКЕУ), тому що для неї характерне поширення слабопроникних порід.

Одним із найважливіших природних факторів підтоплення є несприятливі погодно-кліматичні умови. Дослідники відзначають циклічність їх зміни. У “багатоводні” роки різко збільшується середньорічна кількість атмосферних опадів, а також вологість, відповідно зменшується середньорічна температура. Зміна балансу вод і водного режиму в такі роки зумовлює значне піднімання рівня підземних вод – місцями на 1–2 м і більше. В результаті різко активізуються небезпечні геологічні процеси, зокрема підтоплення. На території НКЕУ в такі роки ґрунтові води затоплюють підвали павільйонів на кілька десятків сантиметрів.

На території НКЕУ важливу роль відіграють техногенні фактори – інфільтраційні втрати з водогінно-каналізаційних систем, ліквідація природних дрен (балок), створення асфальтових покриттів тощо.

Перші відомості про значне піднімання РГВ і підтоплення на території НКЕУ з'явилися в 1952 р. В 1960–1961 рр. у підтопленому стані були деякі підвальні приміщення. Порівняно з 1949 р. середня величина піднімання РГВ становила 3,8 м (у деяких місцях 5–6 м). У червні 1987 р. було зафіксовано піднімання РГВ (часткове затоплення підвальних приміщень), не пов'язане з метеорологічним фактором. У січні 1988 р. глибина залягання ґрунтових вод становила 2,9–4,2 м у межах павільйонів та 1,0–1,7 м на ділянці фруктового саду. За даними натурних спостережень, були підтоплені підвали павільйонів 4, 8, 6, 10 та саду і в 2000–2003 рр.

**Вивчення підтоплення центральної частини НКЕУ за допомогою ГІС.** Враховуючи акту-

альність цієї проблеми, зокрема, вплив процесів підтоплення на життєдіяльність окремих виробничих і культурних комплексів, науковими та спеціалізованими організаціями проведено роботи з дослідження процесів підтоплення та виявлення негативних змін гідрогеологічних умов. Оперативний аналіз і прогноз зміни ситуації не були можливими через відомчі бар'єри, відсутність єдиної бази даних. З 2002 р. у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка розпочалося створення бази даних геолого-геофізичної інформації для території м. Києва. Назріла необхідність по-новому оцінити сучасний стан і перспективи розвитку процесів підтоплення на території НКЕУ із застосуванням сучасних ГІС-технологій. Використання географічних інформаційних систем (ГІС) дає змогу оптимізувати роботи щодо збору, обробки, зберігання та аналізу інформації про стан навколишнього середовища, ефективно аналізувати різнопланову геолого-екологічну інформацію, будувати карти, які наочно відображають результати цього аналізу тощо.

Для вивчення процесів підтоплення була використана інформація загальної геолого-геофізичної бази даних, що була створена на геологічному факультеті КНУ з використанням матеріалів інженерно-геологічних робіт інституту "Гіпроград", виконаних для забезпечення будівництва НКЕУ, і геолого-геофізичних досліджень Дніпровської геолого-геофізичної експедиції, проведених з метою вивчення підтоплення центральної частини НКЕУ [4].

База даних геолого-геофізичної інформації створена і поповнена за допомогою програмних засобів MapInfo Professional 6.0, Arc View GIS 3.2a. База даних складається з окремих атрибутивних таблиць, що містять різноманітну інформацію, та цифрових карт, створених у результаті обробки фактичних матеріалів.

База даних геолого-геофізичної інформації містить:

- інженерно-геологічну та гідрогеологічну інформацію (картографічно прив'язані свердловини й точки спостережень, літологічні, інженерно-геологічні розрізи свердловин, відомості про водоносні горизонти, глибини залягання РГВ, матеріали випробування свердловин);
- матеріали інтерпретації сейсмозондувань МЗХ (швидкості поширення поздовжніх сейсмічних хвиль у різних літологічних комплексах, сейсмогеологічні розрізи);
- матеріали інтерпретації мікроелектрозондувань (профілі електричних зондувань, точки спостереження МЕЗ, питомий електричний опір ґрунтів і порід ВЧР, геоелектричні розрізи);
- електронну (цифрову) топографічну основу масштабу 1 : 10 000;

- карти ізоліній глибин залягання ґрунтових вод, карти гідроізогіпс, погоризонтні карти питомого електричного опору ґрунтів та порід ВЧР.

Крім того, була використана різноманітна інформація відділу капітального будівництва та служб експлуатації об'єктів НКЕУ.

Вихідна інформація була актуалізована за допомогою космознімків.

Для визначення глибини залягання РГВ крім прямих вимірювань безпосередньо у свердловинах використовували дані сейсмозондувань. За швидкістю поширення поздовжніх сейсмічних хвиль  $V_p$  виділено три групи порід:

- покрівні відклади – ґрунти та породи, потужність до 1,5 м; межі зміни швидкості 120–250 м/с, середнє значення  $\bar{V}_p = 180$  м/с;
- породи неповністю водонасичені (зона аерації), розміщуються переважно в інтервалі глибин 1,5–4 м; межі зміни швидкості 200–400 м/с, середнє значення  $\bar{V}_p = 300$  м/с;
- породи водонасичені (водоносний горизонт), глибина залягання РГВ здебільшого 2,5–4,0 м, у районі саду 1–2 м; межі зміни швидкості 800–2500 м/с, найімовірніші значення 1500–2000, середнє значення  $\bar{V}_p = 1700$  м/с.

Слід зазначити, що на території НКЕУ породи зони аерації практично не вирізняються за поздовжньої швидкістю  $V_p$  по латералі. Встановлені дві межі зміни швидкості поширення поздовжніх сейсмічних хвиль: між ґрунтами і материнським породами та між породами неводонасиченими і водонасиченими. Другу межу використовували для визначення глибини залягання РГВ. Точність визначення  $\pm 0,2$  м. За даними сейсмозондування були обчислені абсолютні позначки залягання рівня ґрунтових вод та побудовані карти ізоглибин до РГВ.

На рис. 1 наведені фрагменти карт ізоглибин до РГВ за даними буріння та сейсмозондування на різні роки (1988, 1987 та 1951 рр.).

На картах зафіксовано локальні ділянки з перепадом глибин залягання РГВ. Природу цих аномалій пояснено фільтраційною неоднорідністю розрізу (різною проникністю порід, що підтверджується погоризонтними картами питомих електричних опорів порід), а також впливом техногенних факторів (втрати з водонесівних комунікацій, поливи клумб тощо). У підтопленому стані перебувають павільйон 6 і територія саду, що розміщується у пониженій частині території, з глибинами залягання РГВ 0,5–2 м.

За даними електрометричних досліджень визначено, що питомі електричні опори порід змінюються в широких межах і залежать від їх літологічного складу і ступеня зволоження [2, 4, 5].

На території досліджень підвищеним електричним опором від 100 до 250 Ом · м вирізняються піски і супіски легкі слабозволожені, а також

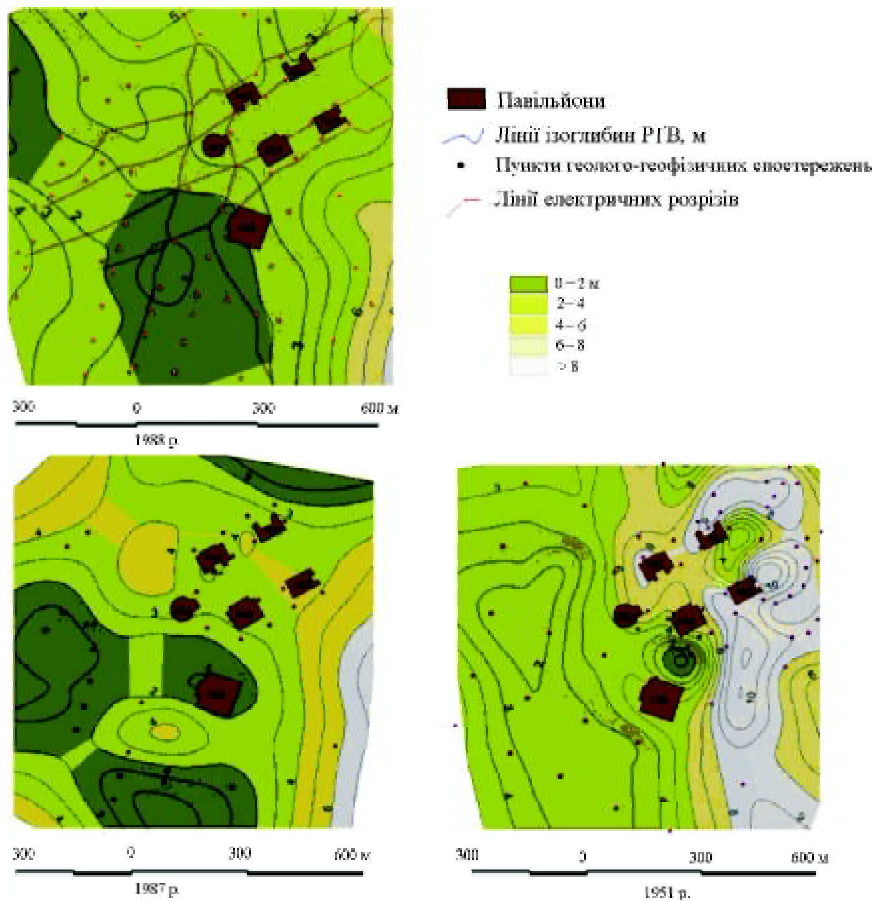


Рис. 1. Карти ізоглибин до рівня ґрунтових вод центральної частини НКЕУ

ґрунти піщані і супіщані. Такі самі утворення, поширені у зоні аерації, але більш зволожені, мають менший опір (60–150 Ом·м).

Електричний опір суглинків легких з прошарками супісків також залежить від ступеня їх водонасичення. Для слабозвожених порід характерний опір 40–100 Ом·м, а для звожених 30–60 Ом·м.

Згідно з отриманими даними, опір моренних суглинків середніх практично не залежить від ступеня обводненості і становить 15–25 Ом·м. Найнижчий опір (10–15 Ом·м) мають глини і моренні суглинки важкі, які є водотривом. Для визначення фільтраційних властивостей порід використано отриману для району досліджень емпіричну залежність між коефіцієнтом фільтрації  $K_{\phi}$  і питомим електричним опором  $\rho$ :

$$\log K_{\phi} = 2,1 \log \rho - 3,96.$$

Для глин  $K_{\phi} = 0,009-0,014$ ; моренних суглинків важких  $K_{\phi} = 0,014-0,03$ ; моренних суглинків середніх  $K_{\phi} = 0,032-0,095$ ; суглинків легких  $K_{\phi} = 0,139-0,594$ ; супісків і пісків переважно дрібнозернистих  $K_{\phi} = 0,594-2,55$ ; для пісків різнозернистих і великозернистих  $K_{\phi} > 2,55$  м/добу.

На основі геолого-геофізичної інформації охарактеризовано кожен виділений геоелектричний горизонт (модель), який розміщується в інтервалі глибин відповідно, м: 0–1,5; 1,5–3,0; 3–6; по-

над 6; побудовано погоризонтні карти питомого електричного опору порід.

Питомий опір ґрунтів в інтервалі глибин 0–1,5 м характеризує ґрунтовий профіль і частково материнські породи. Тут виділено ділянки підвищених і високих значень  $\rho$  (від 60 до 500 Ом·м), які відповідають наявності неводонасичених проникних пісків і супісків. Лише в межах саду, де потужність зони аерації невелика, опір зменшується до 30–40 Ом·м, що засвідчує наявність тут водонасичених супісків і суглинків легких.

Відклади, що залягають в інтервалі глибин 1,5–3,0 м, є материнськими породами. Мінімуми питомого електричного опору  $\rho$  займають значно більшу площу і зменшуються в цьому інтервалі до 17–20 Ом·м, що вказує на водонасиченість порід у цих зонах.

Породи, розвинуті в інтервалі глибин 3–6 м, характеризуються максимумами значень  $\rho$ , що мають локальний характер. Переважно поширені ділянки понижених і низьких значень електричних опорів – відповідно 25–60 і 8–25 Ом·м. Це здебільшого повністю водонасичені, слабо- і дуже слабопроникні утворення. На глибинах понад 6 м, майже повністю зникають максимумами значень  $\rho$ , переважають значення менше 20 Ом·м. Тут залягають насамперед дуже слабо- і майже непроникні утворення – глини і моренні суглинки важкі (водотрив). Цей водотрив призводить до накопи-

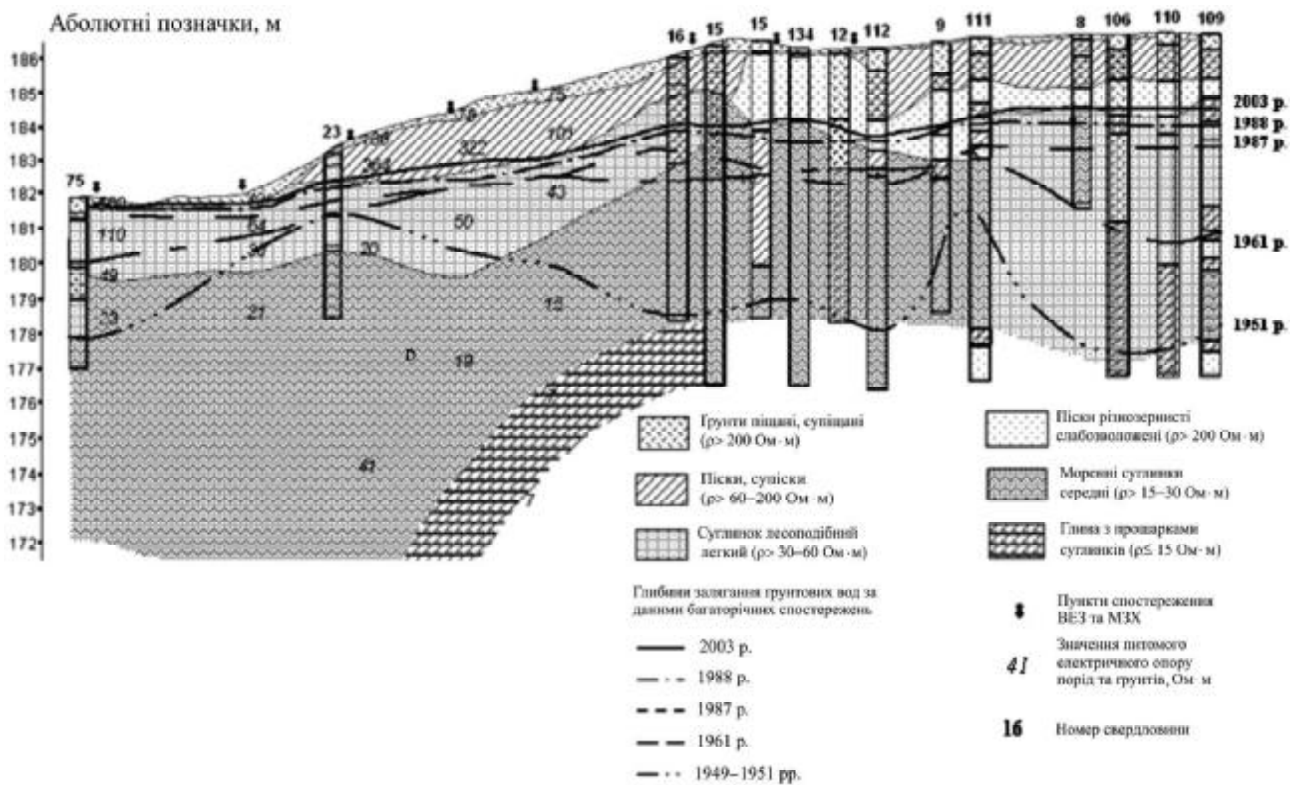


Рис. 2. Геолого-геофізичний розріз центральної частини НКЕУ

чення ґрунтових вод в безпосередній близькості до земної поверхні і сприяє розвитку підтоплення даної території.

За результатами геолого-геофізичних досліджень з використанням ГІС були побудовані геолого-геофізичні розрізи по семи профілях. Один з них показано на рис. 2.

Таким чином, за даними геофізичних досліджень 1987–1988 рр., більша частина центру НКЕУ перебуває у підтопленому стані і лише на південному сході та північному заході території у ВЧР суттєво переважають проникні піщані відклади з підвищеним електричним опором. Ця територія найменше схильна до підтоплення.

#### Висновки.

1. У результаті забудови виставкового центру, планування території, ліквідації природних дрен ґрунтових вод, втрат з водонесівних комунікацій, несприятливих погодно-кліматичних факторів у центральній частині виставкового центру інтенсивно розвиваються процеси підтоплення. Внаслідок цього змінюються склад порід, їх фізико-механічні властивості, що призводить до нерівномірної деформації та появи тріщин будівель, зменшення експлуатаційної надійності фундаментів.

Після забудови “Експоцентру України” ґрунтові води поступово наблизились до земної поверхні. Інтенсивність піднімання була різною в різні роки. Порівняно з 1951 р. підземні води піднялись у середньому на 3,8, а в деяких місцях на 5–6 м.

2. Відзначено високу інформативність геофізичних досліджень у встановленні глибини залягання ґрунтових вод. Зокрема, положення РГВ чітко зафіксовано даними малоглибинної сейсморозвідки з точністю 0,2 м. Глибина залягання РГВ є другою від поверхні контрастною межею із зміною швидкостей поширення поздовжніх хвиль від перших сотень до 1500–2000 м/с.

Спостерігається чітка залежність між значеннями питомого електричного опору  $\rho$ , коефіцієнта фільтрації  $K_f$  порід (ґрунтів) та мірою їх зволоження (водонасичення). Для слабозвожених порід і ґрунтів характерні підвищені і високі опори ( $\rho$  до 500, іноді понад 1000 Ом · м) і значна проникність ( $K_f$  від 0,594 до 7,5 м/добу і більше). У міру збільшення зволоження зменшуються величини параметрів  $\rho$  і  $K_f$ . У зоні повного водонасичення породи вирізняються низьким опором (8–25 Ом · м) і дуже слабкою проникністю ( $K_f$  від 0,009–0,059 м/добу). До цього ж геоелектричного горизонту належать і піски-плевуні, які зафіксовані в центральній частині НКЕУ.

3. За результатами геолого-геофізичних досліджень встановлено, що під час вивчення підтоплення важливе значення має не лише аналіз гідрогеологічних умов, а й виявлення конкретних особливостей верхньої частини геологічного середовища, визначення параметрів ВЧР. Такі завдання можна вирішувати у разі використання комплексу сейсмогеологі-

- чних розрізів і погоризонтних карт питомих електричних опорів ґрунтів та порід.
4. Для оперативного контролю за процесами підтоплення НКЕУ та прилеглих територій короткострокового та довгострокового прогнозу зміни РГВ необхідно використання бази даних, створеної на основі всієї наявної геолого-геофізичної інформації та розробки постійно діючої системи моніторингу із застосуванням сучасних ГІС-технологій.
  1. [www.exponenter.com.ua](http://www.exponenter.com.ua)
  2. Шмарьян С.А., Евсеев В.П., Онищук І.І. и др. Изучение подтопленных земель. – Киев: Севургеология, 1989. – 8 с.
  3. *Инженерный* захист від підтоплення ґрунтовими водами територій та споруд // [www.uwodgeo.org.ua](http://www.uwodgeo.org.ua)
  4. Миколенко Л.І., Кожан О.М. Створення бази даних для контролю за екологічним станом природного середовища (на прикладі ділянки Експоцентру м. Києва). Матеріали VI Міжнар. наук. конф. “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. – К., 2005. – С. 165–166.
  5. *Отчет* о результатах комплексных геолого-геофизических исследований по изучению подтопления в центральной части ВДНХ УССР. – Киев, 1989.

*Надійшла до редакції 18.03.2009 р.*

*С.А. Выжва, И.И. Онищук, И.В. Цюпа*

#### МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ ПІДТОПЛЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ “ЕКСПОЦЕНТР УКРАЇНИ”

Проаналізовано сучасний стан та подано оцінку процесів підтоплення на території “Експоцентр України” з використанням сучасних ГІС-технологій. Виявлено зв’язок між зміною геофізичних параметрів і рівнем ґрунтових вод. Наведено геоелектричні параметри порід верхньої частини розрізу та геолого-геофізичну модель за даними моніторингу рівня ґрунтових вод у типових умовах міської агломерації (м. Київ). Побудовано карти ізоглибин до рівня ґрунтових вод за комплексними даними для різних періодів експлуатації виставкового центру.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, геофізичні дослідження, процеси підтоплення, рівень ґрунтових вод.

*С.А. Выжва, И.И. Онищук, И.В. Цюпа*

#### МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСОВ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА “ЭКСПОЦЕНТР УКРАИНЫ”

Проведен анализ современного состояния и дана оценка процессов подтопления на территории “Экспоцентр Украины” с использованием современных ГИС-технологий. Установлена связь между изменением геофизических параметров и уровнем грунтовых вод. Приведены геоэлектрические параметры пород верхней части разреза и геолого-геофизическая модель по данным мониторинга уровня грунтовых вод в типичных условиях городской агломерации (г. Киев). Построены карты изоглубин до уровня грунтовых вод по комплексным данным для разных периодов эксплуатации выставочного центра.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, геофизические исследования, процессы подтопления, уровень грунтовых вод.