

УДК 550.837

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.01>

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vyzhvas@gmail.com;
В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: vitus16@ukr.net;
І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: oivan1@ukr.net;
М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
О. Шабатура, канд. геол. наук,
E-mail: dard@ukr.net;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)

Присвячено висвітленню особливостей застосування геофізичних методів досліджень при вивченні підтоплення територій міських агломерацій. Розглянуто завдання, що ставляться при спеціалізованих дослідженнях підтоплення територій, комплекси та особливості геофізичних методів для їхнього вирішення. Виділено три етапи спеціалізованих досліджень підтоплення територій: рекогносцирувально-методичний, детальний та моніторинговий. Визначено принципи геофізичного картування стану земель шляхом їхнього геоелектричного погоризонтного вивчення та розроблено геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу, що є основою оцінки території, схильної до підтоплення.

Для прикладу наведено результати геофізичних досліджень, виконаних у межах ділянки підтоплення на території Експо-центру України, і побудовано відповідні геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу.

Наголошено, що раціональний комплекс геофізичних методів при дослідженні процесів підтоплення визначається для кожної окремої природної обстановки з урахуванням: можливості виконання польових досліджень окремим геофізичним методом на даній ділянці; наявності диференціації порід за фізичними властивостями, що використовуються конкретним геофізичним методом; економічної ефективності застосування даного геофізичного методу.

Ключові слова: підтоплення, мікроелектрозондування, верхня частина розрізу, геолого-геофізичні моделі, інженерно-геофізичні дослідження, питомий електричний опір.

Постановка проблеми. Проблеми техногенної й природної безпеки торкаються життєвих інтересів кожної людини, адже ми живемо і працюємо в техногенно-природному середовищі, своєю діяльністю свідомо або не свідомо втручаємося у цілісну систему і гармонію природи. Компроміс, а частіше – конфронтація, між техногенною сферою і природним середовищем нині є тією глобальною проблемою, від розв'язання якої залежить майбутнє кожної країни. Міські території привертають увагу через необхідність оцінки ризику прояву небезпечних природних і природно-техногенних явищ і процесів, що становлять загрозу для безпечного проживання людини та функціонування об'єктів господарської інфраструктури. Для території міських агломерацій найбільш суттєвими є такі процеси, як сучасні повільні тектонічні (вертикальні й горизонтальні) та сейсмічні рухи земної кори, активізація рухів по тектонічних розломах, зсувні, ерозійні та суфозійно-просадкові процеси, осідання ґрунту внаслідок ущільнення порід підвалин споруд, підтоплення та заболочування тощо.

Спорудження в Україні великих меліоративних і гідротехнічних систем, зарегульованість поверхневого стоку, дія техногенних факторів призвели до інтенсивного розвитку процесів підтоплення земель. Розвитку цих процесів сприяє повна зарегульованість Дніпра, що спричиняє підпір горизонту ґрунтових вод в середньому до 6–10 м. На малих і середніх річках побудовано більше 26500 водосховищ і ставків. Це також зумовлює середній підпір горизонту ґрунтових вод до 2–5 м.

Одним із найбільш небезпечних проявів шкідливої дії вод в Україні стали катастрофічні паводки, повені та підтоплення територій. Ці проблеми є притаманними майже для всієї території України. Саме паводки і підтоплення завдають найбільше збитків людям, економіці та навколишньому середовищу. У сучасних умовах інтенсивність змиву ґрунтів у процесі водної ерозії майже в 10 разів перевищує темпи ґрунтоутворення. Шкідливої дії водної

ерозії зазнають понад 8 млн га орних земель. Слід зазначити, що на еродованих землях утрачається від 10 до 50 % урожаю.

Природне і техногенне підтоплення земель охоплює площі близько 146 тис. км². Від підтоплення страждає населення понад 500 міст і селищ міського типу та 1127 сільських населених пунктів України. Підтоплені площі становлять до 27 % загальної площі держави (*Гурицький, 2013; Ромащенко та Савчук, 2001; Семенчук та ін., 2018*). Підтоплення територій провокує активізацію таких процесів, як зсуви, просідання ґрунту тощо. Причинами підтоплення є гідрологічні умови, нераціональне зрошення, втрата у водонесучих мережах, гірничодобувні роботи. Особливу небезпеку створює застосування так званої "мокрої консервації" шахт.

Для прикладу, у зоні впливу Північно-Кримського каналу підтоплення зазнають 96 тис. га орних земель, Каховської зрошувальної системи – 5,1 тис. га, Каланчацької – 9,1 тис. га. Унаслідок фільтрації води в зоні дії Краснознам'янського каналу підтоплено 33 населені пункти та майже 34 тис. га сільгоспугідь. Понад 50 % зрошуваних земель суттєво погіршили свою природну родючість через підтоплення, засолення та солонцювання.

Під терміном "підтоплення" розуміють комплекс явищ, що призводять до стійкого підвищення рівня ґрунтових вод (РГВ) або вологості порід зони аерації до критичних рівнів, які ускладнюють або виключають нормальну експлуатацію народногосподарських об'єктів і сільськогосподарське виробництво. Безперечно, що ці явища характерні переважно для освоєних територій.

Об'єктом картування при оцінці ступеня підтоплення територій є породи, які становлять гідродинамічну зону активного водообміну до першого місцевого або локального водотриву. Основною характеристикою породи, з точки зору проблеми підтоплення, слід вважати її властивість пропускати і віддавати воду, показником якої є коефіцієнт фільтрації (*Шестаков, 1979*). Основним критерієм

при віднесенні території до категорії підтоплених нині є глибина залягання рівнів ґрунтових вод – критична глибина (*Методические...*, 1984). За ступенем підтоплення території поділяються на такі типи: території, підтоплені в природних умовах; території, підтоплені під впливом техногенної дії; території, потенційно підтоплювані й не підтоплювані.

Підтоплення докорінно змінює геоecологічні, механічні, фізичні, хімічні, гігієнічні параметри геологічного середовища (ГС). При цьому виявляються такі зміни його параметрів:

1. Погіршення геомеханічних, водно-фізичних властивостей дисперсних ґрунтів (перш за все лесових і лесово-суглинкових, що поширені на 65 % території України).

2. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів або ініціювання нових (зсувів, просідань, тиксо-тропних перетворень ґрунтів, карсту, суфозії тощо).

3. Зниження несучої здатності та сейсмостійкості внаслідок наближення РГВ до фундаментів споруд із ризиком пливунних перетворень лесових, лесово-суглинкових та інших водонасичених ґрунтів.

4. Зниження захисної здатності ландшафтів і ґрунтів за рахунок зменшення потужності зони аерації, погіршення сорбційної здатності ґрунтів і прискорення міграції забруднювачів у ґрунтові води.

5. Зміна гідрогеохімічного складу підземних вод, зростання їхньої агресивності під впливом порушення рівноваги в системі "мінеральний скелет – вода".

Застосування методів геофізики з метою вивчення верхньої частини розрізу (у тому числі й процесів підтоплення) вимагає створення спеціальної технології польових досліджень за допомогою польових мікростанок і відповідної методики інтерпретації даних.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Існує низка публікацій, присвячених вивченню підтоплення земель (*Вижва, 2004; Вижва та ін., 2007, 2018; Гурицький, 2013; Методические...*, 1984; *Онищук та Рева, 2004; Ромащенко та Саєчук, 2001; Семенчук та ін., 2018; Vyzhva et al., 2019; Tyutyunnik et al., 2004*), проте систематичні спеціалізовані геофізичні дослідження, а тим більше геофізичний моніторинг практично не проводяться. В основному, за можливості, використовуються деякі матеріали геофізичних зйомок, раніше виконаних на площі з метою геологічного картування та пошуку родовищ корисних копалин. Слід зазначити про вкрай незначну кількість публікацій на дану тему з практичними прикладами застосування геофізичних методів для вивчення підтоплення.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена висвітленню особливостей застосування геофізичних досліджень підтоплення територій міських агломерацій. Більшість досліджень підтоплення виконувалась прямими гідрогеологічними методами шляхом масового буріння свердловин з визначенням глибини до рівня ґрунтових вод. Слід підкреслити, що геофізичні дослідження дозволяють визначити будову і створити геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу ділянок підтоплення. Безперечно, такі дослідження потребують підвищеної точності польових геофізичних вимірювань, застосування статистичних методів обробки та нових підходів до інтерпретації польових геофізичних даних.

Мета досліджень – висвітлення особливостей геофізичних досліджень при вивченні підтоплення території. Наведено результати комплексних геофізичних досліджень верхньої частини розрізу урбанізованої території підтоплення – Експоцентру України в Києві.

Завдання і комплекс геофізичних досліджень підтоплення території. Геофізичні методи застосовуються для вивчення гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянок підтоплення, впливу їх на екологічну обстановку, об'єкти господарської інфраструктури. Об'єктивна оцінка підтоплення територій потребує вирішення цілої низки завдань. Основними з них є: визначення будови верхньої частини розрізу – складу, стану, властивостей, умов залягання та геометричних параметрів окремих горизонтів гірських порід, оцінка їхньої проникності, водонасичення і режиму ґрунтових вод. Вирішення цих завдань разом із даними про кліматичні та гідрологічні умови району, матеріалами про техногенні навантаження та історію розвитку підтоплення слугують основою для їхнього прогнозу.

Основна увага при цьому звертається на детальні екогеофізичні дослідження верхньої частини розрізу (ВЧР) – приповерхневої частини геологічного середовища потужністю десять, рідше двадцять метрів. Вона включає ґрунти, гірські породи, поверхневі, ґрунтові та підземні води, екзогенні фізико-геологічні явища (зсуви, карст тощо). ВЧР найбільшою мірою зазнає впливу екзогенних (атмосферних, поверхневих) і техногенних (фізико-хімічних, енергетичних) процесів. Верхня частина розрізу часто характеризується екстремальним проявом як природних (різкою геологічною та петрофізичною неоднорідністю у просторі та часі), так і техногенних (максимальним проявом різноманітних штучних фізичних полів) процесів. Особливістю верхньої частини геологічного середовища, що зазнає значних техногенних навантажень, є яскраво виражена залежність усіх його характеристик від координат точок спостережень – властивості і стан ґрунтів та гірських порід помітно змінюються від точки до точки як по латералі, так і по вертикалі. Різко змінюється у просторі й часі поведінка різних геофізичних полів.

Прогнозування підтоплення базується на вивченні локальних водотривів і зволоженості порід, що знаходиться відображення у вимірних геофізичних полях. Застосування геофізичних досліджень дозволяє обстежити великі площі за детальної спостережень, яка недоступна для прямих методів інженерно-геологічних вишукувань з використанням буріння великої кількості свердловин. Вони дешевші за прямі методи і можуть бути виконані за коротший термін. Завдяки всебічному аналізу досліджуваної системи і масовому характеру спостережень геофізична інформація найбільш повно забезпечує можливість моделювання, яке є необхідним елементом інженерно-геологічного моніторингу процесів підтоплення.

Моніторингові інженерно-геофізичні дослідження при вивченні підтоплення призначені для натурального спостереження за змінами геологічного середовища в зоні їхнього розвитку. Отримані геофізичні матеріали використовуються для прийняття науково-технічних рішень на проведення оптимальних захисних інженерно-технічних заходів. Необхідність та обов'язковість спеціалізованих геолого-геофізичних досліджень у районі підтоплення територій з метою прогнозування імовірних геоecологічних змін доквілля впливає із численних прорахунків в об'ґрунтуванні будівництва та експлуатації різних природно-техногенних систем.

Слід зазначити, що нехтування організацією моніторингових інженерно-геофізичних та екогеофізичних досліджень зсувонебезпечних територій підвищує ризики втрати несучої здатності, родючості сільськогосподарських угідь і заболочування території.

При вивченні підтоплення територій геофізичні дослідження мають такі специфічні особливості:

1. Вивчення підтоплень геологічного середовища – порівняно новий напрям у природознавстві, який базується на використанні даних гідрогеології, інженерної геології, ґрунтознавства, меліорації, геохімії, геоєкології тощо. Для геофізичних методів, що традиційно застосовувались і застосовуються для вивчення глибоких і досить глибоких горизонтів (об'єктів) – дослідження верхньої частини геологічного розрізу (включаючи ґрунти), а в кінцевому рахунку підтоплень і забруднень земель – є досить складною та незвичною проблемою.

2. Об'єктом вивчення служить верхня частина розрізу – геологічне середовище, яке має свою структуру, речовинно-літологічний склад, петрофізичні й водно-фізичні особливості. При цьому постійно змінюються його геофізичні властивості.

3. Для вирішення нових для геофізики завдань необхідно отримувати і вивчати різноманітну інформацію про особливості верхньої частини розрізу – виконувати її розчленування на окремі шари, включаючи тонкі ґрунтові горизонти, простежувати їх у плані й на глибину, визначати їхні геофізичні параметри. Дуже важливими є також дані про положення РГВ і про його зміни в часі. Це вимагає широкого застосування польових мікроустановок, нових геофізичних методів, статистичних способів обробки інформації та тісної ув'язки даних різних методів досліджень.

4. Інформативні аномалії спостерігаються на фоні досить високого рівня різних завод, що тягне за собою, з одного боку, необхідність виконання великої кількості високоточних вимірювань, а з іншого – потребує гнучкого комплексування геофізичних методів з інженерно-геологічними та гідрогеологічними дослідженнями.

5. Застосовується досить густа мережа геофізичних спостережень, яка відповідає масштабу 1 : 5 000 – 1 : 10 000 і визначається конкретною геолого-геофізичною обстановкою району робіт і поставленими завданнями.

6. Спостереження виконуються в максимально стислі терміни, щоб уникнути похибок, викликаних сезонними змінами РГВ.

7. Під час моніторингових досліджень перший цикл спостережень виконується в період найвищого сезонного РГВ, а наступні – в аналогічні періоди. Для надійного прогнозування розвитку процесів підтоплення необхідно провести щонайменше три цикли спостережень.

8. Необхідно виконувати комплексний аналіз усієї геолого-геофізичної інформації з тісною ув'язкою матеріалів різних геофізичних та інженерно-геологічних методів.

Виділяють три етапи досліджень підтоплення території: рекогносцирувально-методичний, детальний та моніторинговий. На рекогносцирувально-методичному етапі досліджень проводиться спеціалізована переінтерпретація матеріалів раніше виконаних геофізичних, гідрогеологічних та інженерно геологічних досліджень, виконуються дистанційні геофізичні зйомки (радіолокаційна, радіотеплова тощо) та комплексні геофізичні спостереження на окремих профілях. Залежно від поставлених завдань дистанційні методи дозволяють здійснити або узагальнене інтегральне обстеження місцевості та аналіз прояву регіональних факторів, або деталізацію окремих ділянок з метою визначення зон розвитку процесів підтоплення. На основі дистанційних зйомок і ретроспективної інформації щодо досліджуваної території створюється перша наближена модель підтоплення території, яка надалі конкретизується і уточнюється геофізичними методами. За матеріалами геофізичних досліджень на окремих профілях визначаються загальні геофізичні особливості району робіт, ефективність різних геофізичних методів і розробляється їхній раціональний комплекс для проведення детальних робіт.

На етапі детальних досліджень проводяться дослідження раціональним комплексом геофізичних методів за системою профілів. За матеріалами цих досліджень з урахуванням усієї геолого-гідрогеологічної інформації вирішуються задачі, поставлені в технічному завданні, визначаються геофізичні параметри та геолого-геофізичні моделі підтоплених ділянок, даються рекомендації щодо прийняття захисних інженерно-технічних рішень. Аналіз цих даних дозволяє зробити також вибір характерних (ключових) профілів і точок для організації моніторингових спостережень.

На етапі моніторингових досліджень виконуються режимні геофізичні спостереження за змінами геофізичних полів у часі, які зв'язані з динамікою розвитку процесів підтоплення. Крім того, контролюється ефективність спеціальних меліоративних заходів. Дослідження проводяться комплексом геофізичних методів на попередньо вибраних ключових профілях. Частота циклів геофізичних вимірювань визначається швидкістю розвитку процесів підтоплення, конкретною геолого-геофізичною обстановкою району досліджень. Комплексний аналіз матеріалів моніторингових спостережень дозволяє зробити прогноз розвитку процесів підтоплення, вносити корективи в ході виконання захисних меліоративних заходів і контролювати їхню ефективність.

Для вирішення завдань, пов'язаних з вивченням процесів підтоплення на детальному етапі, раціональний комплекс мікрогеофізичних методів включає: мікроелектрозондування (МЕЗ), мікроелектрозондування способом викликання поляризації (МЕЗ-ВП), резистивиметрію поверхневих і ґрунтових вод (РПГ), сейсмозвідку кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) у модифікації мікроейсмозондувань (МСЗ). Основою геофізичного комплексу є мікроелектрозондування. Його суть полягає у збільшенні частоти зміни розносів лінії живлення (у три рази порівняно зі стандартною). Крім того, початковий рознос лінії живлення АВ/2 зменшено до 0,3 м, що призвело до продовження кривої електрозондування на порядок на білогарифмічному бланку в бік зменшення глибин досліджень і більш чіткого окреслення її особливостей. Ці заходи дозволили підвищити детальність геоелектричного розшарування ВЧР, виділяти 2–3 геоелектричні горизонти в межах ґрунтового профілю, що було неможливо при застосуванні стандартних вертикальних електричних зондувань.

Об'єктами спостережень МЕЗ є площі підтоплених земель та інтенсивних змін ґрунтів, замкнені пониження (поди), а також меліоровані землі, переважно підтоплені. Крім цього, при вивченні техногенного забруднення середовища деталізаційні роботи виконуються в межах житлової забудови міст і сіл, у районі промислових і тваринницьких комплексів, відстійників, очисних споруд, водоймищ тощо. За матеріалами МЕЗ здійснюється погоризонтне, об'ємне вивчення верхньої частини розрізу, у тому числі й малопотужних ґрунтових горизонтів. На основі отриманої інформації вирішуються задачі картування підтоплень і техногенних забруднень ВЧР, геоелектричної типізації ґрунтів і створюються геоелектричні моделі.

За допомогою МЕЗ-ВП детально вивчається горизонт ґрунтових вод, а також материнські породи, які підстилають ґрунтовий профіль. Зважаючи на значні затрати праці (економічну ефективність), МЕЗ-ВП застосовуються в невеликих обсягах на окремих профілях як деталізаційні (допоміжні) до методу МЕЗ.

За допомогою резистивиметрії поверхневих і ґрунтових вод виконується опробування всіх свердловин, криниць і водойм на території досліджень з метою оцінки мінералізації ґрунтових вод.

В останній час комплекс цих методів доповнюється георадарним методом. Георадарні дослідження виконуються на окремих профілях, як деталізаційні (допоміжні) до методу МЕЗ і використовуються для контролю положення рівня ґрунтових вод.

Електрометричні методи за значним обсягом вирішуваних специфічних завдань, експресністю та можливістю їхнього виконання у складних геоморфологічних умовах є найбільш універсальними і ефективними при детальному вивченні ділянок підтоплення.

Основне завдання сейсмозондувальних робіт полягає у визначенні глибини залягання рівня ґрунтових вод. У зв'язку із тим, що на ділянках підтоплення переважають мікрошаруваті структури, використовувались установки сейсмозондувань. Сейсмометричні дослідження виконуються кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) з використанням як поздовжніх, так і поперечних хвиль. Метод КМЗХ ґрунтується на реєстрації та простеженні (кореляції) перших і наступних вступів поздовжніх, а також поперечних заломлених хвиль. Сучасний рівень систем збору та реєстрації сейсмічних даних і можливості систем обробки та інтерпретації сейсмометрії дозволяють застосовувати просторово або тривимірну зйомку.

Розроблено технологію комплексної обробки мікрогеофізичних даних, яка включає основні етапи: збір та аналіз попередніх геолого-гідрогеологічних даних; якісну інтерпретацію даних польових досліджень; кількісну інтерпретацію даних польових досліджень; статистичну обробку та визначення кореляційних залежностей між гідрогеологічними (проникність, РГВ, засолення, мінералізація) і геофізичними параметрами; гідрогеологічну інтерпретацію, аналіз та узагальнення комплексних даних. Основними перевагами даної технології є експресність, економічна ефективність, об'єктивність, можливість визначення у польових умовах великої кількості параметрів, що контролюють стан ґрунтів і порід ВЧР.

Геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу та принципи геоелектричного картування підтоплення земель. Отримана в результаті виконаних мікрогеофізичних досліджень інформація про будову верхньої частини розрізу (до глибини 10 м), у тому числі й тонких приповерхневих шарів (ґрунтів), дозволяє вирішувати широке коло різних завдань. Одні із них – вивчення ґрунтів, причому на відміну від стандартних методів їхнього картографування за допомогою геофізичних методів визначаються геофізичні параметри ґрунтів, а також порід зони аерації й першого від поверхні водоносного горизонту. Подібні геофізичні дані суттєво доповнюють і розширюють відомості про ґрунти, роблять їх більш інформативними і достовірними, дозволяють вивчати їх з більшою деталісттю (*Вижва та ін., 2007; Онищук та Рева, 2004; Туцунікетал., 2004*).

Вивчення верхньої частини розрізу – досить складне завдання, зважаючи на строкатість умов залягання ґрунтів та їхню значну мінливість. Тому для геофізичного картування підтоплення було розроблено спеціальну методику, в основі якої лежить принцип погоризонтного вивчення ВЧР (*Онищук та Рева, 2004*). Особливість цієї методики полягає в детальному розчленуванні ВЧР, включаючи ґрунтові горизонти. З цією метою будується комплект погоризонтних карт питомих електричних опорів в інтервалах глибин, що відповідають розвитку основних ґрунтових горизонтів і материнських порід. Ці інтервали, які можуть бути різними, але характерними для певного регіону, визначаються завдяки використанню параметричних матеріалів (*Онищук та Рева, 2004*). Для Лісостепової зони Придніпров'я та Київського Полісся найбільш інформативними виявились інтервали глибин: до 1,2 м; 1,2–3,5 м; 3,5–10 м. Геофізичні параметри

цих інтервалів є основою побудови геолого-геофізичних моделей верхньої частини розрізу з метою вивчення підтоплення.

Для побудови геолого-геофізичних моделей (ГГМ) ВЧР і геоелектричного картування підтоплення використовуються матеріали МЕЗ і МЕЗ–ВП. На рис. 1 і 2 наведено розподіли питомого опору та відносного комплексного параметра залежно від стану (зволоння, оглеєння, засолення тощо) ґрунтів і порід ВЧР (*Онищук, 2005*).

При складанні карт геолого-геофізичних моделей ВЧР з метою вивчення підтоплення враховується, що вони повинні відображати особливості геолого-гідрогеологічної будови і ґрунтово-меліоративних умов верхньої десятиметрової частини розрізу (яка має вирішальний вплив на формування процесу підтоплення), уміщувати інформацію по всіх горизонтах, що вивчаються. Крім цього, виділені моделі мають бути уніфікованими, що дозволить використовувати ці дані при вивченні різних природних обстановок.

З метою характеристики горизонтів, які становлять ВЧР, вони розділяються на групи, що позначені цифрами арабськими і римськими, а також буквами. Їхне сполучення використовується для позначення (кодування) виділених геоелектричних моделей ВЧР (*Онищук та Рева, 2004; Онищук, 2005*). Літери, які стоять у лівій частині позначення моделей, характеризують породи нижнього горизонту (інтервал 3,5–10 м); римська цифра – материнські породи та ґрунти середнього горизонту (інтервал 1,2–3,5 м); арабська цифра – ґрунтові горизонти до глибини 1,2 м. Арабська цифра відсутня, коли ґрунти і породи верхнього і середнього горизонтів не відрізняються за опором.

Згідно з розробленою класифікацією області розповсюдження ґрунтів, які характеризуються моделями А–І–0 і Б–І–0, зіставляються за ділянками, складеними товщею майже непроникних порід, зокрема ґрунтами, перезволоженими торф'яно-болотними, засоленними, несприятливими для меліорації. Це головним чином низинні болота з природно високим положенням РГВ, які належать до підтоплених земель. ґрунти, які характеризуються моделями А–І, Б–І, Б–ІІ–1, приурочені до ділянок розповсюдження дуже слабopоникних утворень, у тому числі до заболочених, перезволожених і засоленних ґрунтів. Землі малородючі, інтенсивно підтопленні й несприятливі для меліорації. ґрунти, які характеризуються моделями А–І–4 і Б–І–4, приурочені до підтоплених забудованих територій, покритих шаром насипного ґрунту.

Моделі А–ІІ і Б–ІІ відповідають ділянкам незначно підтопленням або потенційно підтопленням, які складені слабopоникними ґрунтами і водовмісними породами, що підстилаються водотривом. Землі орні, у деяких випадках – перезволожені, що потребують осушувальної меліорації.

Області розповсюдження моделей А–ІІІ, Б–ІІІ, В–ІІІ більшою мірою, а також моделей А–ІV, Б–ІV, В–ІV розглядаються як ділянки непідтоплені, з родючими чорноземними ґрунтами.

Моделі В–V, Г–V, Д–VІ приурочені: а) до підвищень рельєфу денної поверхні (землі малозволожені, які потребують зрошення); б) до алювіально-делювіальних пісків і піщаних відкладів різною мірою зволожених.

Аналіз карт електричних опорів, РГВ і ГГМ ВЧР, дозволяє зробити висновок, що центральна частина Національного виставкового комплексу "Експоцентр України" (НКЕУ) перебуває в підтопленому стані, і лише на південному сході й північному заході території у ВЧР суттєво переважають проникні піщані відклади з підвищеним електричним опором. Ця територія найменше схильна до підтоплення.

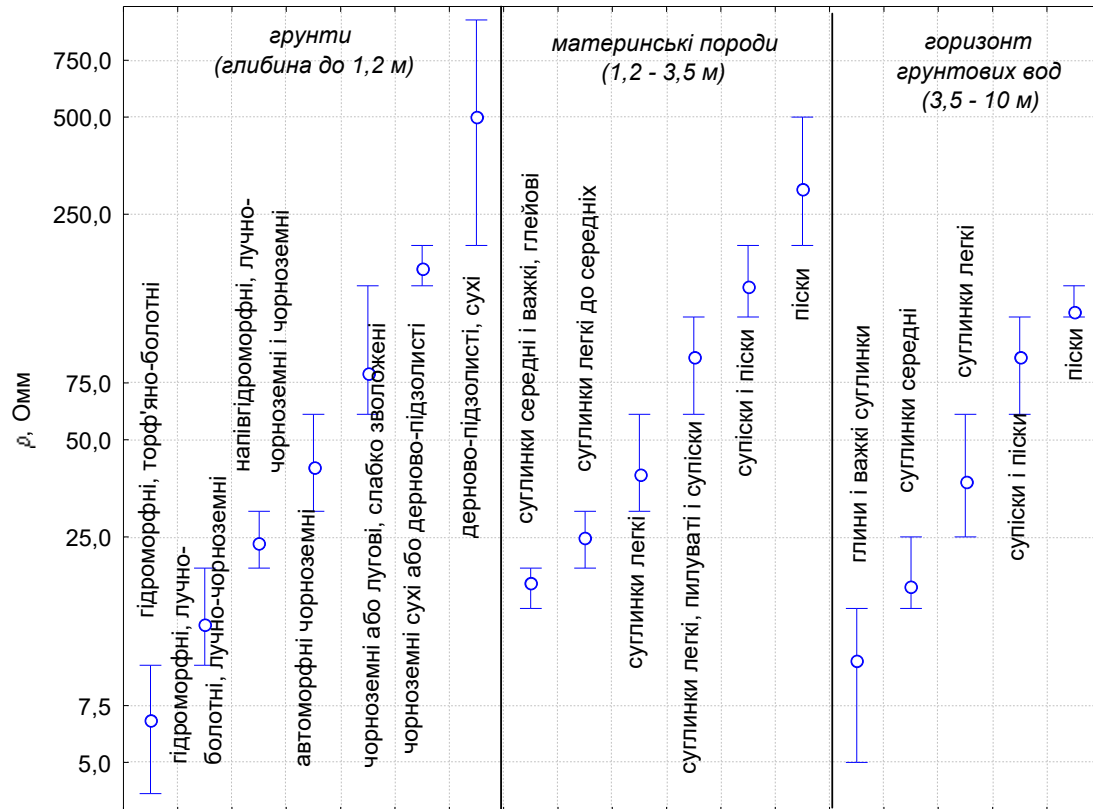


Рис. 1. Розподіл питомого електричного опору ρ ґрунтів і порід ВЧР

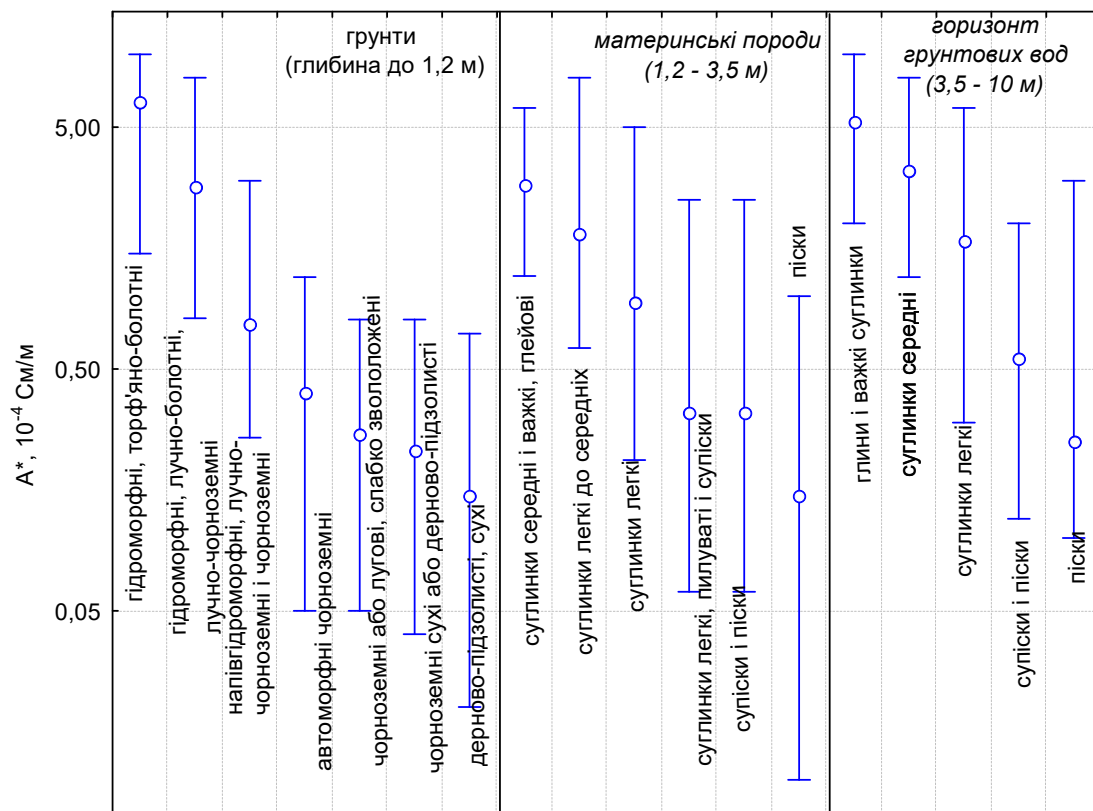


Рис. 2. Розподіл відносного комплексного параметра A* ґрунтів і порід ВЧР

Експериментальні дослідження. Для прикладу наведемо результати геофізичних досліджень із вивчення підтоплення на урбанізованій території НКЕУ. Територія належить до Поліської низини (генетично – це моренно-

зандрава рівнина). У зв'язку із широким розповсюдженням слабопроникних порід у ВЧР вона досить сприятлива для формування підтоплення земель.

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

Значне збільшення вологості глинистих порід приводить до їхнього набухання. Унаслідок цього відбувається неоднорідна деформація ґрунтів, просадка фундаментів будівель, зменшення їхньої експлуатаційної надійності. На території НКЕУ, у роки підвищеної водності, ґрунтові води затоплюють підвали павільйонів на декілька десятків сантиметрів. Спостерігаються періодичні підтоплення підвалів сільськогосподарських павільйонів і саду. Із 1951 р. по 2019 р. рівень ґрунтових вод піднявся тут на 4–9 м.

Для вивчення підтоплення на території Експоцентру України комплекс досліджень включав мікроелектрозондування (МЕЗ), сейсморозвідку кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) у модифікації мікросейсмондувань (МСЗ) і буріння неглибоких параметричних свердловин.

За результатами сейсмондувань і неглибоких свердловин побудована карта глибин до рівня ґрунтових

вод (рис. 3). На основі отриманої геолого-геофізичної інформації охарактеризований кожний з виділених геоелектричних горизонтів, розташованих в інтервалі глибин відповідно: 0–1,2 м; 1,2–3,5 м; 3,5–10 м. Наводяться відомості про літологічний склад порід, ступінь їхньої зволоженості (водонасиченості) і проникності, межі зміни параметрів ρ і K_f .

На карті питомих електричних опорів ґрунтів в інтервалі глибин 0–1,2 м (рис. 4) виділяються області підвищених і високих значень ρ (від 60 до 500 Ом·м), які відповідають неводонасиченим проникним підзолистим ґрунтам, піскам і супіскам. Лише в районі саду, де потужність зони аерації невелика, опір зменшується до 30–60 Ом·м, і це свідчить про наявність тут водонасичених супісків і суглинків легких.

В інтервалі глибин 1,2–3,5 м на карті електричних опорів порід (рис. 5) мінімуми ρ займають уже значно більшу площу й електричні опори зменшуються до 17–20 Ом·м, що свідчить про водонасиченість порід у цих зонах.

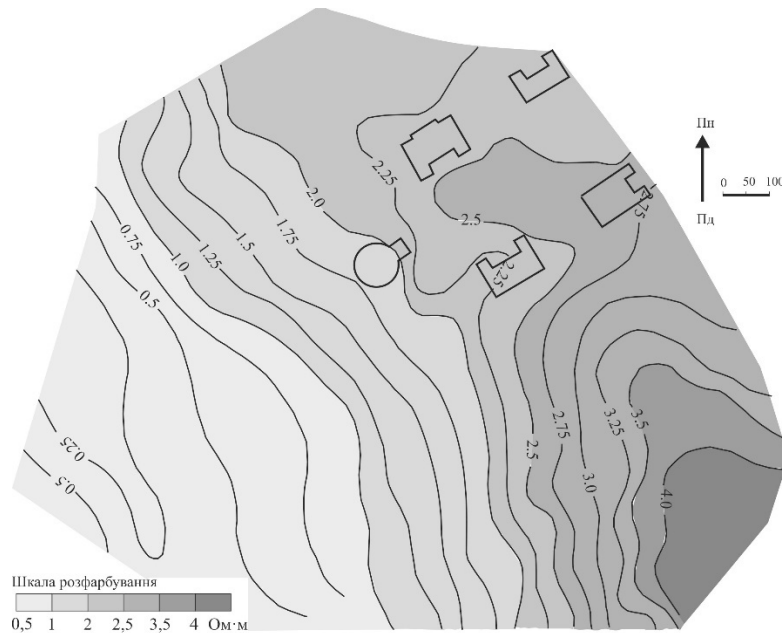


Рис. 3. Карта глибин до рівня ґрунтових вод

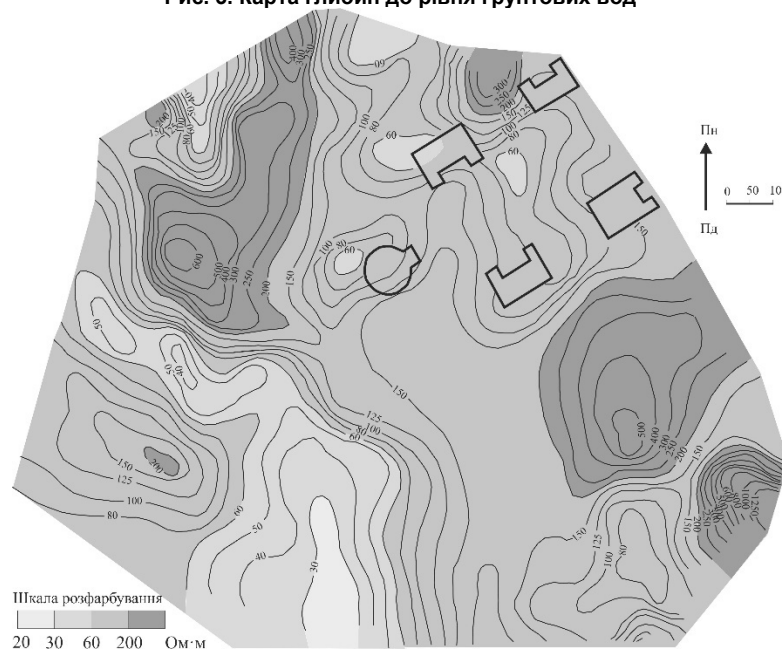


Рис. 4. Карта питомого електричного опору ґрунтів в інтервалі глибин 0–1,2 м

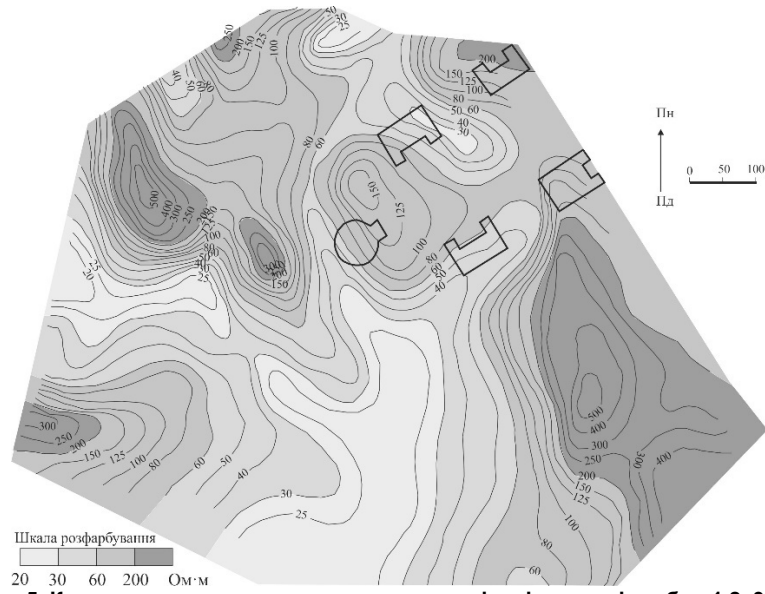


Рис. 5. Карта питомого електричного опору порід в інтервалі глибин 1,2–3,5 м

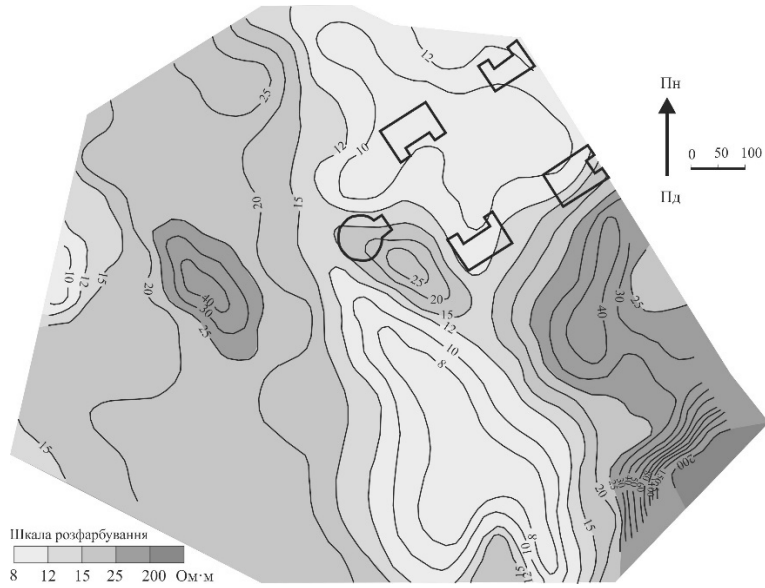


Рис. 6. Карта питомого електричного опору в інтервалі глибин 3,5–10 м

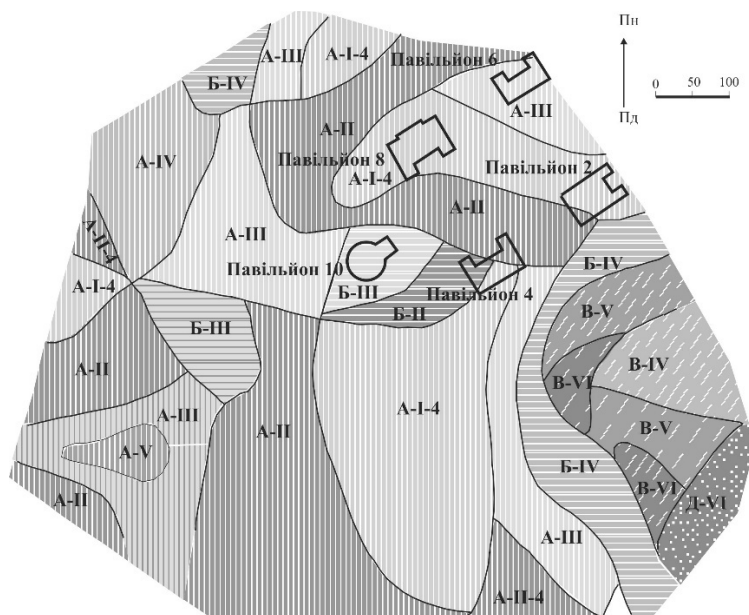


Рис. 7. Карта геолого-геофізичних моделей ВЧР. Характеристика ГМ наведена в табл. 1

На карті питомих електричних опорів порід, розповсюджених в інтервалі глибин 3,5–10 м (рис. 6), максимумами ρ мають локальний характер. Переважають уже області понижених і низьких значень опорів – відповідно 25–60 і 8–25 Ом·м. Це переважно повністю водонасичені, слабо- і дуже слабопроникні утворення. На

картах опорів при глибинах більше 10 м майже повністю зникли максимуми, переважають значення опорів менше 20 Ом·м. Тут розповсюджені переважно дуже слабопроникні й майже непроникні утворення: глини і моренні суглинки важкі (водотрив).

Таблиця 1

Геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу. Ділянка "Експоцентр України"

№	Модель ВЧР	Геоелектричний горизонт I, інтервал глибин 0–1,2 м	Геоелектричний горизонт II, інтервал глибин 1,2–3,5 м	Геоелектричний горизонт III, інтервал глибин 3,5–10 м	Ступінь підтоплення
1	A-I-4	Дерново-підзолисті та насипні ґрунти, нормально зволожені, проникні, ρ 60–150 Ом·м	Суглинки легкі, оглеєні дуже слабо і слабопроникні, $\rho < 20$ Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні, $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
2	A-II-4	Дерново-підзолисті та насипні ґрунти, нормально зволожені, проникні, ρ 60–150 Ом·м	Суглинки легкі, слабооглеєні, слабопроникні, ρ 20–30 Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні, $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
3	A-II	ґрунти сірі лісові, чорноземні, лугово-чорноземні, місцями оглеєні і перезволожені, слабопроникні, ρ 20–30 Ом·м	Суглинки легкі, слабооглеєні, слабопроникні, ρ 20–30 Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні, $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
4	B-II	ґрунти сірі лісові, чорноземні, лугово-чорноземні, місцями оглеєні і перезволожені, слабопроникні, ρ 20–30 Ом·м	Суглинки легкі, слабооглеєні, слабопроникні, ρ 20–30 Ом·м	Суглинки середні, слабопроникні, ρ 15–25 Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
5	A-III	Дерново-підзолисті ґрунти. Проникні і менш проникні, часто перезволожені, ρ 30–60 Ом·м	Суглинки легкі. Проникні і менш проникні, ρ 30–60 Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні, $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
6	B-III	Дерново-підзолисті ґрунти. Проникні і менш проникні, часто перезволожені, ρ 30–60 Ом·м	Суглинки легкі. Проникні і менш проникні, ρ 30–60 Ом·м	Суглинки середні, слабопроникні, ρ 15–25 Ом·м	Фундаменти споруд у підтопленому стані
7	A-IV	Дерново-підзолисті та насипні ґрунти нормально і менш зволожені, проникні, ρ 60–150 Ом·м	Суглинки легкі, пилуваті, супіски проникні, ρ 60–120 Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні. $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд потенційно підтоплювані
8	B-IV	Дерново-підзолисті та насипні ґрунти нормально і менш зволожені, проникні, ρ 60–150 Ом·м	Суглинки легкі, пилуваті, супіски проникні, ρ 60–120 Ом·м	Суглинки середні, слабопроникні, ρ 15–25 Ом·м	Фундаменти споруд потенційно підтоплювані
9	B-IV	Дерново-підзолисті та насипні ґрунти нормально і менш нормально зволожені, проникні, ρ 60–150 Ом·м	Суглинки легкі, пилуваті, супіски, проникні, ρ 60–120 Ом·м	Суглинки легкі, супіски. Проникні й менш проникні, ρ 25–60 Ом·м	Ділянки не сприятливі до підтоплення
10	A-V	Дерново-підзолисті ґрунти, піски, малозволожені, проникні, ρ 150–200 Ом·м	Супіски і піски, малозволожені проникні, ρ 120–200 Ом·м	Суглинки важкі, глина. Дуже слабопроникні, $\rho < 15$ Ом·м	Фундаменти споруд потенційно підтоплювані
11	B-V	Дерново-підзолисті ґрунти, піски, малозволожені, проникні, ρ 150–200 Ом·м	Супіски і піски, малозволожені проникні, ρ 120–200 Ом·м	Суглинки середні, слабопроникні, ρ 15–25 Ом·м	Фундаменти споруд потенційно підтоплювані
12	B-V	Дерново-підзолисті ґрунти, піски, малозволожені, проникні, ρ 150–200 Ом·м	Супіски і піски, малозволожені проникні, ρ 120–200 Ом·м	Суглинки легкі, супіски. Проникні й менш проникні, ρ 25–60 Ом·м	Ділянки несприятливі до підтоплення
13	B-VI	Піщані ґрунти, піски, насипні ґрунти добре проникні, $\rho > 200$ Ом·м	Піски сухі, добре проникні, $\rho > 200$ Ом·м	Суглинки середні, слабопроникні, ρ 15–25 Ом·м	фундаменти споруд потенційно підтоплювані
14	B-VI	Піщані ґрунти, піски, насипні ґрунти добре проникні, $\rho > 200$ Ом·м	Піски сухі, добре проникні, $\rho > 200$ Ом·м	Суглинки легкі, супіски. Проникні і менш проникні, ρ 25–60 Ом·м	Ділянки несприятливі до підтоплення
15	D-VI	Піщані ґрунти, піски, насипні ґрунти добре проникні, $\rho > 200$ Ом·м	Піски сухі, добре проникні. $\rho > 200$ Ом·м	Піски різнозерністі. Добре проникні, $\rho > 120$ Ом·м	Ділянки несприятливі до підтоплення

У результаті комплексного аналізу геофізичних даних створено ГТМ верхньої частини території підтоплення Експоцентру України. На рис. 7 наводиться карта геолого-геофізичних моделей, а в табл. 1 – їхня характе-

ристика. На території досліджень за геофізичними даними виділено чотири мікрообстановки. Мікрообстановка 1 – ділянки з насипними ґрунтами, фундаменти споруд у підтопленому стані (моделі A-I-4, A-II-4).

Мікрообстановка 2 – ділянки з гідроморфними та напівгідроморфними ґрунтами, фундаменти споруд і ґрунти в підтопленому стані (моделі А-II, Б-II).

Мікрообстановка 3 – ділянки з автоморфними ґрунтами, фундаменти споруд потенційно підтоплювані (моделі А-III, Б-III, А-IV, Б-IV, А-V, Б-V).

Мікрообстановка 4 – ділянки з піщаними та насипними ґрунтами, несприятливі до підтоплення (моделі В-IV, В-V, В-VI, Д-VI).

На ділянках, які зазнали підтоплення, формується глейове середовище. Тобто відбуваються глибокі зміни складу, водно-фізичних, геоелектричних властивостей ґрунтів і приповерхневих осадових відкладів. Активізуються процеси заболочення, засолення, замулення, оглеєння. Змінені ґрунти і породи, порівняно з незміненими, характеризуються більш низькою водопроникністю і більш високою електричною провідністю. Таким чином, геоелектричне картування змінених утворень дозволяє виділити різною мірою підтоплені ділянки. На відміну від методів прямого вивчення підтоплення, заснованих на режимних спостереженнях зміни РГВ, у даному випадку використовуються геофізичні критерії. Використання комплексу погоризонтних геоелектричних карт і розрізів дозволяє з достатньою детальністю і достовірністю вивчати підтоплення земель і зміни їхніх властивостей.

Висновки. Підсумовуючи сказане, слід зазначити, що:

1. Виділено три етапи спеціалізованих досліджень підтоплення території: рекогносцирувально-методичний, детальний та моніторинговий. На кожному із цих етапів застосовується спеціалізований комплекс геофізичних методів. Для вирішення завдань, пов'язаних з вивченням процесів підтоплення на детальному етапі, раціональний комплекс мікрогеофізичних методів включає: мікроелектрозондування, мікроелектрозондування способом викликання поляризації, резистивиметрію поверхневих і ґрунтових вод, георадарний метод і мікросейсмосондування методом заломлених хвиль. Залежно від природних умов ділянки досліджень і економічної доцільності обсяги застосування конкретних методів можуть змінюватись. Основою геофізичного комплексу є мікроелектрозондування. Слід зазначити, що найбільш універсальними та ефективними за значним обсягом вирішуваних специфічних завдань при вивченні ділянок підтоплення є електрометричні методи.

2. Доцільність використання геофізичних методів для вивчення підтоплення територій не викликає сумніву. Однак слід враховувати те, що раціональний комплекс геофізичних методів при дослідженні процесів підтоплення визначається для кожної окремої природної обстановки (окремої ділянки) з урахуванням: можливості виконання польових досліджень окремим геофізичним методом на даній ділянці; наявності диференціації порід за фізичними властивостями, що використовуються конкретним геофізичним методом; економічної ефективності застосування даного геофізичного методу. Надалі, у міру накопичення досвіду досліджень, постають більш складні завдання – геофізичного вивчення динаміки процесів підтоплення, що є завданням моніторингового етапу досліджень.

3. На ділянці підтоплення Експоцентр України, зважаючи на забудову місцевості та економічну доцільність, для вивчення підтоплення застосовувався геофізичний комплекс, що включав мікроелектрозондування та мікросейсмосондування кореляційним методом заломлених хвиль з бурінням неглибоких параметричних свердловин на окремих профілях. Геоелектричні дослідження показали високу ефективність. За результатами цих досліджень складено погоризонтні карти електричних опорів і геолого-геофізичні моделі верхньої частини розрізу, на

основі яких виконано класифікацію території Експоцентру України за ступенем підтоплення.

4. Застосування раціонального комплексу геофізичних досліджень та організація геофізичного каналу моніторингу ділянок підтоплення є необхідним і економічно виправданим засобом для ефективного планування та виконання захисних інженерно-меліоративних заходів з метою зниження і уникнення негативного впливу процесів підтоплення на довкілля та об'єкти господарської інфраструктури.

Робота виконана в межах наукової теми 18БП049-01 Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Список використаних джерел

- Вишва, С.А. (2004). Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. Київ: "Обрії", 236 с.
- Вишва, С.А., Онишук, В.І., Онишук, І.І., Рева, М.В. (2018). Інженерна геофізика. Підручник. ВПЦ "Київський університет", 592 с. ISBN 978-966-439-997-1.
- Вишва, С.А., Рева, М.В., Онишук, В.І., Онишук, І.І. (2007). Геоелектричні параметри ґрунтів та порід у верхній частині розрізу лісостепової зони України. *Геофізичний журнал*, 3(29), 116–121.
- Гурицький Д. С. (2013). Аналіз регіонального розвитку процесів підтоплення земель та їх вплив на природні ресурси України. *Геоінформатика*, 1, 85–89. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2013_1_12.
- Методические рекомендации по изучению подтопления в комплексе работ по крупномасштабной съемке для целей мелиорации. (1984). Днепропетровск: Ротапринт ДО ИМП, 34 с.
- Онишук, І.І. (2005). Розробка технології мікрогеофізичних досліджень процесів підтоплення ґрунтів (на прикладі Лісостепу Придніпров'я та Київського Полісся). *Автореф. дис. ... канд. геол. наук*. Київ, 22 с.
- Онишук, І.І., Рева, М.В. (2004). Принципи геофізичного картування стану земель. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 29–30, 36–40.
- Ромашченко, М.І., Савчук, Д.П. (2001). Підтоплення земель в Україні. *Вісник аграрної науки*, 8, 54–59.
- Семенчук, І.М., Бірюкова, О.О., Бреславец, В.В. (2018). Економічні збитки від підтоплення території України. *Агросвіт*, 2, 40–44. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2018_2_8.
- Шестаков, В.М. (1979). Динамика подземных вод. М.: МГУ, 363с.
- Tyutyunnik, Yu.G., Onyshchuk, I.I., Shabatura, A.V. (2004). Electrical Resistivity of genetic soil horizons. *Eurasian Soil Sciences*, 37, 2, 177–180.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Application of geophysical methods in the study of landslides. *18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, 2019 May 13–16, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902066>.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). The mapping of submerged (flooding) lands by geophysical methods. *XIII International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2019 November 12–15, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903225>.

References

- Guidelines for the study of flooding in the complex of work on large-scale surveys for land reclamation. (1984). Dnepropetrovsk: Offsetprint IMR. [in Russian]
- Guritskiy, D.S. Analysis of regional development of flooded lands and their impact on the natural resources of Ukraine. *Geoinformatics*, 1, 85–89. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2013_1_12.
- Onyshchuk, I. (2005). Development of technique of microgeophysical measurements of flooding process of soils (on example of forest-steppe of the Dnieper region and Kyiv Polissia). *Extended abstract of Candidate's thesis (Geol.Sci.)*. Kyiv: "Obrii". [in Ukrainian]
- Onyshchuk, I.I., Reva M.V. (2004). Principles of a geophysical map of the land. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 29–30, 6–40. [in Ukrainian]
- Romashchenko, M.I., Savchuk, D.P. (2001). Flooding of soils in Ukraine. *Visnyk of agricultural science*, 8, 54–59. [in Ukrainian]
- Semenchuk, M.I., Biriukova, O.O., Breslavets, V.V. (2018). Economic losses from flooding of the territories of Ukraine. *Agrosvit*, 2, 40–44. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2018_2_8.
- Shestakov, V. (1979). The dynamics of groundwater. M.: Moscow State University. [in Russian]
- Tyutyunnik, Yu., Onyshchuk, I., Shabatura, O. (2004). Electrical Resistivity of genetic soil horizons. *Eurasian Soil Sciences*, 37, 2, 177–180.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M. (2007). Geoelectric parameters of soils and rocks at the top of the section of the forest-steppe zone of Ukraine. *Geophysical Journal*, 3 (29), 116–121. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Application of geophysical methods in the study of landslides. *18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*, 2019 May 13–16, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902066>.

Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabaturo, O. (2019). The mapping of submerged (flooding) lands by geophysical methods. *XIII International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2019 November 12–15, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903225>.

Vyzhva, S.A.(2004). Geophysical monitoring of dangerous geological processes. Kyiv: "Obrii". [in Ukrainian]

Vyzhva, S.A., Onyshchuk, V.I., Onyshchuk, I.I., & Reva, M.V. (2018). *Engineering geophysics*. Kyiv : Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 25.08.2020

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: vyzhvas@gmail.com;
V. Onyshchuk, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: vitus16@ukr.net;
I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: oivan1@ukr.net;
M. Reva, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
O. Shabaturo, PhD (Geol.),
E-mail: dard@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOPHYSICAL STUDY OF FLOODING OF URBAN CONGLOMERATES AREAS

The article is dedicated to using of the geophysical study of flooding of urban conglomerates areas. The studies were performed within the framework of three stages of exploration of flooding area: reconnaissance-methodical, detailed and monitored ones. The most effective principles of the geophysical mapping of flooding area with geoelectrical horizontal section in depth, creation of geological and geophysical model of the upper part of the section are described. This approach made an assessment tool for classification of the flooding-prone urban areas (on example of flooding area of the Expocenter of Ukraine territory, Kyiv).

It is important to note that there is no universal set of geophysical methods for the study of flooding of urban area. This point must be taken into account when choosing the proper geophysical method, elimination of the effects of physical differentiation of soils and economic efficiency of the chosen complex of geophysical methods.

Keywords: flooding, microelectric sounding, upper section of the section, geological and geophysical models, engineering and geophysical studies, electrical resistivity.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vyzhvas@gmail.com;
В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: vitus16@ukr.net;
И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: oivan1@ukr.net;
Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
А. Шабатура, канд. геол. наук,
E-mail: dard@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Посвящено особенностям применения геофизических методов исследований при изучении подтопления территорий городских агломераций. Освещены задачи, которые ставятся при специализированных исследованиях подтопления, комплексы и особенности геофизических методов для их решения. Выделены три этапа специализированных исследований подтопления территорий: рекогносцировочно-методический, детальный и мониторинговый. Определены принципы геофизического картирования состояния земель путем их геоэлектрического погоризонтного изучения и разработаны геолого-геофизические модели верхней части разреза, что является основой оценки территории с точки зрения склонности к подтоплению.

Для примера приведены результаты геофизических исследований, выполненных в пределах участка подтопления на территории Экспоцентра Украины, и построены соответствующие геолого-геофизические модели верхней части разреза.

Отмечено, что рациональный комплекс геофизических методов при исследовании процессов подтопления определяется для каждой отдельной природной обстановки с учетом: возможности выполнения полевых исследований отдельным геофизическим методом на данном участке; наличия дифференциации пород по физическим свойствам, используемых конкретным геофизическим методом; экономической эффективности применения данного геофизического метода.

Ключевые слова: подтопление, микроэлектронзондирование, верхняя часть разреза, геолого-геофизические модели, инженерно-геофизические исследования, удельное электрическое сопротивление.