

УДК 556.3.013

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2018.3.19-25>

О. В. ЩЕРБАК, канд. геол. наук, науковий співробітник
(ДУ "ІГНС НАН України"), scherbak_olesia@ukr.net,

Є. О. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. наук, старший науковий співробітник,
головний науковий співробітник (ІТГП НАН України), yakovlev@niss.gov.ua,

В. В. ДОЛІН, д-р геол. наук, проф., головний науковий співробітник
(ДУ "ІГНС НАН України"), vdolin@ukr.net

O. V. SHCHERBAK, Candidate of Geological Sciences, Research
(SI "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy
of Sciences of Ukraine"), scherbak_olesia@ukr.net,

Ye. O. YAKOVLEV, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow,
Chief Scientist (Institute of Telecommunications and Global Information
Space of the National Academy of Sciences of Ukraine), yakovlev@niss.gov.ua,

V. V. DOLIN, Doctor of Geological Sciences, Professor, Chief Scientist
(SI "Institute of Environmental Geochemistry, National Academy
of Sciences of Ukraine"), vdolin@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГЕОФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПОЛЯ ҐРУНТОВИХ ВОД У ЗОНІ ВПЛИВУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

MODELING OF HYDROGEOFILTRATION GROUNDWATER FIELD IN THE INFLUENCE ZONE OF METALLURGICAL PRODUCTION

Досліджено гідрогеофільтраційне поле першого від поверхні водоносного горизонту (ВГ), поширеного в межах майданчика металургійного виробництва Приватного акціонерного товариства "ЄВРАЗ Дніпровський металургійний завод" (ПрАТ "ЄВРАЗ ДМЗ"), для виявлення техногенно спричинених порушень. Використано дані цільового аналізу та оброблення моніторингових спостережень за станом підземних вод (2010–2014 рр.) системи відомчого рівня моніторингу ПрАТ "ЄВРАЗ ДМЗ".

Для моделювання гідрогеофільтраційного поля досліджувано ВГ використано геоінформаційний підхід. Виявлено наявність локальних "купульних" збурень поверхні дзеркала ґрунтових вод і стійких аномальних підвищень температури підземних вод.

Ключові слова: водоносний горизонт, гідрогеофільтраційне поле, моделювання, ГІС, металургійне виробництво.

In order to detect technogenic violations, the hydrogeofiltration field of the aquifer closer to the land surface which is spreading within the site of metallurgical production of the Private Joint Stock Company "EVRAZ Dniprovskiy Metallurgical Plant" (PJSC "EVRAZ DMP") was investigated. The data of the target analysis and the groundwater monitoring information (2010–2014) from the PJSC "EVRAZ DMP" local groundwater monitoring networks were used. A full-scale survey of observation wells and pilot filter work was carried out.

Geoinformation approach was used for modeling the hydrogeofiltration field of the investigated aquifer. According to the results of geoinformation analysis, the presence of disturbances of level, balance and hydrogeothermal parameters of particular aquifer were observed. It was discovered the local "piezometric dome" perturbations of the water table and the stable abnormal groundwater temperature rise. Such changes indicate the presence of additional intensive anthropogenic sources of infiltration in local areas. The most relative level of water-ecological load is obtained the southwest zone of the industrial site with a borderline location. Therefore, the influence of the adjacent urbanized area on the deformation of the hydrogeofiltration field of the aquifer closer to the land surface within the studied area was not excluded.

The preservation of the revealed tendencies of deformation of the hydrogeological conditions on the site might be produced a threat to safe operation of industrial structures as a result of intensification of the flooding process and derivatives – mechanical and chemical phenomena.

Keywords: aquifer, hydrogeofiltration field, modeling, GIS, metallurgical production.

Вступ. Боротьба з небезпечними водно-екологічними та еколого-геологічними проблемами для мешканців міста Дніпра має багаторічну історію. Водна стихія дошкуляла містянам частими повеннями (катастрофічними були в 1820, 1891, 1892, 1907, 1908, 1917, 1931, 1977 рр.). Низинний правий берег, а згодом і забудований лівий берег міста потопали у весняний період від річкової води повноводної артерії р. Дніпро. Після введення в експлуатацію Дніпровської ГЕС (1932–1939 рр.) цей природний процес став регульованим. На перше місце вийшла проблема підтоплення, характерна для урбанізованих територій.

Зокрема, забудова міста докорінно змінює природні гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови, зважаючи на широкий розвиток у межах правобережної частини міста

осідальних лесових і лесово-суглинистих ґрунтів, чутливих до порушень тепловодопереносу. Під комплексним впливом природних і техногенних чинників порушується водний режим території, що зумовлює спрямований підйом рівня ґрунтових вод (РГВ) вище критичного (2–3 м від поверхні). За даними МНС України на території міста є 81 зона можливого підтоплення загальною площею майже 22 км². Ділянки, вразливі до підтоплення, розміщені в низинній слабоборозчленованій частині міста в межах I та II надзаплавних терас р. Дніпро, де на природне підтоплення, пов'язане із сезонними та багаторічними підйомами РГВ, накладаються процеси техногенного підтоплення забудованих територій. Насамперед підтоплюються промислові майданчики металургійної, хімічної, машинобудівної та ін. галузей промисловості, діяльність яких пов'язана з чималим водовикористанням.

Підтоплення виступає в ролі тригера для активізації цілої низки небезпечних геологічних процесів. Змінюються фільтраційні властивості ґрунтів, проявляються процеси осідання, набухання, просідання та відповідно деформуються інженерні споруди, зокрема водопровідно-каналізаційні та теплоенергетичні мережі. Підтоплення призводить до антисанітарного, аварійного, інколи навіть катастрофічного стану споруд, комунікацій та ін. елементів міської інфраструктури. Усе це порушує екологічну безпеку території проживання населення [4, 5].

У фокусі цієї статті – майданчик металургійного виробництва Дніпровського металургійного заводу (ПрАТ “ЄВРАЗ ДМЗ”). Він розміщений у м. Дніпрі (вул. Маяковського, 3) на правобережжі долини р. Дніпро. ПрАТ “ЄВРАЗ ДМЗ” – одне з найбільших промислових підприємств міста та держави, яке спеціалізується на виготовленні сортового прокату.

За даними досліджень [11, 12] діяльність металургійних комплексів має негативний вплив на всі складники довкілля (поверхневі, підземні води, ґрунти, атмосферне повітря). Найуразливішою є верхня зона геологічного середовища (зона аерації), зокрема її найдинамічніший гідрогеофільтраційний складник – перший від поверхні незахищений ВГ. У цій статті розглянуто актуальну проблему трансформації гідрогеофільтраційного поля першого від поверхні ВГ під впливом металургійного виробництва. Оскільки досліджувальний промисловий майданчик входить у структуру урболандшафту – складної багатокomпонентної функціональної системи, що здійснює постійний динамічний вплив на геологічне середовище, то відповідно під час його вивчення постала проблема виділення та оцінки чинників впливу безпосередньо металургійного виробництва на ВГ. Це завдання вирішували із застосуванням сучасних геоінформаційних (ГІС) технологій, які дають змогу оцінити роль техногенезу у формуванні локальних змін гідрогеологічних умов.

Стан дослідження проблеми. Вивченню процесів техногенного підтоплення урбосистем присвячено чимало публікацій. Перші дослідження датовані кінцем 1940-х років і належать С. К. Абрамову. Згодом це питання порушують у своїх працях М. Т. Адиков, В. Е. Ампилов, М. Д. Волошин, Е. С. Дзекцер, В. С. Зільберг, О. Ю. Медведєв, А. Ж. Муфтахов, А. Я. Олійник, Г. Г. Стрижельчик, Г. І. Рудько та ін. Наразі розроблено методичні прийоми прогнозування розвитку підтоплення на забудованих територіях, розглянуто питання інженерного захисту будівель від підтоплення, накопичено чималий обсяг інформації щодо гідрогеологічних умов урбанізованих територій, визначено головні чинники підтоплення та етапи розвитку цього процесу.

Однак, потребує вдосконалення методика моніторингових досліджень, особливо із застосуванням ГІС-технологій. У межах розвитку цих ідей виконано дисертаційну роботу [9], де представлено концепцію створення інформаційно-пошукової системи для прогнозування ступеня потенційної підтопленості урбанізованих територій на основі використання ГІС.

Важливим і не досить вивченим є питання кількісної оцінки величини техногенного інфільтраційного живлення першого від поверхні ВГ через неабияку трудомісткість натурних спостережень. Тому зазвичай використовують опосередковані оцінки за допомогою критеріїв.

У цій праці представлено спробу просторової оцінки величини інфільтраційного живлення за допомогою ГІС на основі даних натурних спостережень та виділення техногенного складника інфільтраційного живлення.

Мета роботи полягала в дослідженні ролі техногенезу у формуванні локальних змін гідрогеофільтраційного поля ВГ та водотеплопереносу в межах природно-техногенної геосистеми (ПТГС) “техногенний комплекс – геологічне середовище” майданчика металургійного виробництва ПрАТ “ЄВРАЗ ДМЗ”.

Наукові та методичні засади дослідження. Дослідження ґрунтується на теоретичних уявленнях про механізм розвитку підтоплення та його вплив на водотеплоперенос у верхній зоні геологічного середовища. Використано широкий спектр потрібних методичних прийомів, з-поміж них: комплексний ретроспективний аналіз даних щодо природних і техногенних чинників розвитку процесу підтоплення; актуалізація даних через натурне обстеження моніторингових свердловин, проведення дослідно-фільтраційних робіт (ДФР); статистичний аналіз даних; побудова картографічних моделей з використанням ГІС-технологій.

ДФР на свердловинах спостережної мережі виконано методом поодиноких пробних випомповувань під час одноразового зниження рівня й відпомповування води в кількості кратній 4–6 об’ємам води в затопленому стовбурі свердловини. Для статистичного аналізу даних використано можливості пакетів Microsoft Excel та STATISTICA 7.0. Оброблення, аналіз та інтерпретацію просторових даних здійснено за допомогою програмного засобу ArcGIS 9.2.

Обговорення отриманих результатів. Фактографічною базою досліджень слугували результати моніторингових спостережень, отримані через локальну мережу спостережних свердловин. Заміри рівнів, температури та гідрогеохімічних параметрів підземних вод, що лягли в основу цього дослідження, отримано зі звітних матеріалів станом на 10.2010 р. [8] та результатів обстеження мережі, яке здійснили автори 10.2014 р.

Цю мережу було споруджено 2010 року для проведення моніторингу стану підземних вод у зоні впливу комплексу очисних споруд зворотних циклів водопостачання. Комплекс складається з таких споруд: шламонакопичувача (трьох шламових карт); насосних станцій зворотних циклів водопостачання № 1, 2, 3; насосного перепомпування стічних вод зі струмка “Східний”; ставка-накопичувача зворотного циклу; ставка-освітлювача; градирень, радіальних відстійників, інженерних комунікацій, зливових каналізацій тощо.

Спостережна мережа складається з 11 свердловин, пробурених на перший від поверхні ВГ. Свердловини розміщені на території майданчика металургійного виробництва ПрАТ “ЄВРАЗ ДМЗ” (рис. 1). Промайданчик на півночі обмежений набережною р. Дніпро, на південному сході – струмком “Аптекарьський”. На півдні на території майданчика протікає струмок “Східний”, води якого через шибєрний засув впадають у струмок “Аптекарьський”. Останній несе свої води у р. Дніпро. Відходи виробництва і технологічні стоки частково акумулюються в межах території підприємства на очисних спорудах або ж скидаються через природні (струмки “Східний”, “Аптекарьський”) та штучні колектори у р. Дніпро. Максимальну кількість стічних вод оцінено у 2500 м³/год.

Геолого-гідрогеологічні умови. У геоморфологічному сенсі територія майданчика металургійного виробництва належить першій пізньочетвертинній терасі р. Дніпро. Рельєф рівнинний, порізаний колишніми старицями, з ухилом у північному напрямку в сторону р. Дніпро.

У геоструктурному плані територія належить східній частині Українського щита. У природних умовах геологічний розріз був представлений товщею верхньочетвертинних



Рис. 1. Карта-схема майданчика металургійного виробництва ПрАТ «ЄВРАЗ ДМЗ»:

1 – шламові карти; 2 – градирні, радіальні відстійники; 3 – ставок-накопичувач, ставок-освітлювач

відкладів, що залягають на корі вивітрювання кристалічних порід докембрію. Алювіальні, озерно-болотні відклади четвертинної системи представлені пилюватими кварцовими пісками з прошарками суглинків, мулів. Порооди кори вивітрювання освітлені, часто зруйновані до суглинків та глин з умістом жорстви до 30 %.

Відповідно до геологічної будови в природних умовах на досліджуваній території було виділено два водоносні горизонти: ВГ в алювіальних відкладах перших надзаплавних терас; ВГ кори вивітрювання та тріщинуватої зони кристалічних порід. У місцях, де немає горизонтів слабопроникних глинистих відкладів, виділені водоносні горизонти мають тісний гідралічний зв'язок та за умови активного водообміну утворюють єдиний водоносний комплекс.

Інтенсивне накопичення та складування шлаків у 1940–1970 роках на території промайданчика зумовило екологічно небезпечне переформування природних геолого-гідрогеологічних умов [10]. Алювіальні та озерно-болотні четвертин-

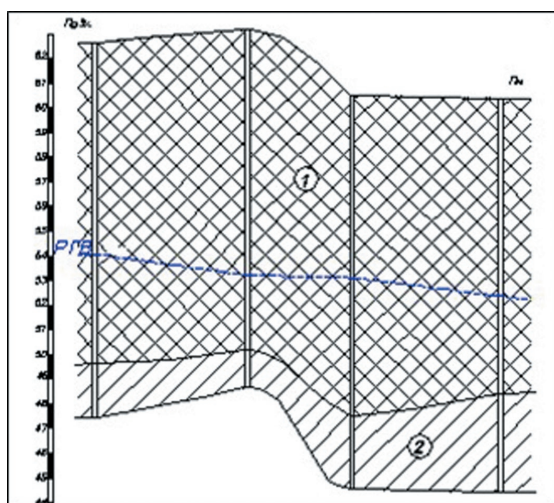


Рис. 2. Схематичний розріз будови першого від поверхні ВГ у місцях складування металургійних шлаків:

1 – техногенні шлакомулові відклади, 2 – водовміщувальні відклади природного походження

ні відклади були перекриті товщею шлаків, потужність яких сягає понад 10 м, з наступним їхнім ущільненням та замуленням. Сучасна структура першого від поверхні ВГ має двошарову будову: природний водонасичений шар (фоновий) і техногенний у шлакомулових відкладах (рис. 2). Потужність шару водонасичених техногенних порід у середньому в 1,56 раза перевищує потужність водонасичених алювіальних відкладів, що зумовлює провідний гідрогеофільтраційний вплив техногенного складника ВГ.

Спостережні свердловини мають глибину від 15,7 до 18,8 м. Досліджуваний ВГ безнапірний. Статистичний рівень приурочений до техногенних утворень і залежно від гіпсометричних позначок території залягає на глибині 7,05–10,5 м, що в абсолютних позначках становить 52,3–54,06 м (станом на 2010 р.). Водозбагаченість водоносного горизонту за даними, отриманими під час спорудження спостережної мережі, незначна. Коефіцієнт фільтрації становить 1,0–3,0 м/добу [8].

Живлення ВГ отримує внаслідок інфільтрації атмосферних опадів, латерального притоку з вищезалеглих забудованих територій, техногенних втрат з підземних водонесних мереж та очисних споруд на майданчику металургійного виробництва. Розвантажуються підземні води горизонту в регіональну дренаж – р. Дніпро.

Результати ДФР. У жовтні 2014 р. автори провели ДФР та вимірювання температури підземних вод. Сучасна двошарова будова досліджуваного ВГ та розміщення водонасиченого шлакомулового насипного шару вище фільтрів спостережних свердловин унеможливають вірогідні оцінки коливань рівня, температури та фільтраційних параметрів.

Зважаючи на утворення техногенноводонасичених шлакомулових порід, оброблення даних пробного випомповування було виконано за 2-ма залежностями [1, 2]:

1. Неусталеного режиму (рівняння Тейса)

$$S_t^* = f(\lg t); T = \frac{0.183Q}{C}, \quad (1)$$

де S_t^* – підвищення рівня (м) після зупинки випомповування за час t діб; Q – дебіт припливу води в стовбур свердловини за першу хвилину (0,0007 доби) після зупинки випомповування; $Q = \pi r_T^2 \cdot (dS/dt)$; r_T – радіус обсадних труб в інтервалі руху рівня, м; C – кутовий коефіцієнт графіка напівлогарифмічної залежності: $C = \frac{S_2^* - S_1^*}{\lg \frac{t_2}{t_1}}$.

2. Усталеного режиму (рівняння Дюпюї):

$$T = 0366 \frac{Q}{S_0} \cdot \lg \frac{R}{r_\phi}, \quad (2)$$

де Q – дебіт припливу вод у стовбур свердловини за першу хвилину (0,0007 доби); R – радіус впливу випомповування (радіус депресії) за умов короткочасового впливу згідно з процесом [1] $R=10$ м; r_ϕ – радіус фільтра дослідних свердловин $r_\phi=0,1$ м [8].

За результатами ДФР було визначено середні значення коефіцієнта водопровідності ($T=K_\phi \cdot m$) ВГ, що становлять 5,72 (за залежністю 1) та 98,97 м²/добу (за залежністю 2). Завищені значення T , отримані за залежністю Дюпюї (до 12–40 разів), та наближення розрахованих значень за залежністю Тейса до первинних (визначених під час будівництва мережі [8]) свідчать про великий приплив води у водонасичену зону депресії. Деформації такого роду можуть бути пов'язані із суфозійними процесами, що виникають безпосередньо у присвердловинній зоні, а також у місцях розміщення при-

родних дрен (яри, струмки), що були засипані шлаковими відходами. Суфозійне винесення дрібнозернистих часточок з водонасичених порід (активне замулення води) з утворенням зон розуцільнення водонасичених порід призводить до збільшення їхніх фільтраційних властивостей. Згідно з вищевикладеним у подальших розрахунках використано більші значення коефіцієнта водопровідності, розраховані за залежністю Дюпюї.

Аналіз часово-просторової структури потоку підземних вод. Просторову модель поверхні дзеркала ґрунтових вод було створено детерміністичним методом інтерполяції із застосуванням аналітичного модуля Spatial Analyst програми ArcGIS 9.2. Для побудови цифрової поверхні обрано метод сплайну, щоб відтворити гладку, що плавно змінюється, природну поверхню дзеркала ґрунтових вод. Адже цей метод дає змогу отримати поверхню мінімальної кривини через всі точки замірювання параметра внаслідок підбирання математичної функції до заданого числа найближчих точок. Гладкість поверхні ліпше передає регуляризований сплайн через збільшення значення вагового параметра [4]. Для створення моделей поверхні дзеркала ґрунтових вод було обрано метод регуляризованого сплайну (ваговий параметр – 0,1; кількість точок впливу – 11), результати моделювання представлені на рис. 3, 4.

Аналіз карт гідроізогіпс 2010–2014 рр. (рис. 3, 4) у межах проммайданчика ПрАТ «ЄВРАЗ ДМЗ» свідчить про складну структуру потоку підземних вод та її просторово-часову мінливість унаслідок техногенного порушення планового лінійного потоку до регіональної дрени – р. Дніпро. Це проявляється у локальних змінах напрямків руху, величин градієнтів та глибини залягання РГВ (рис. 3, 4).

За досліджуваний період (чотири роки) відбулося відносне вирівнювання структури гідроізогіпс із одночасним підвищенням рівнів ВГ. 2014 року глибина залягання РГВ у межах майданчика металургійного виробництва за інтерпольованими даними коливалася від 5 м (на півночі) до 14 м (на південному сході), що свідчить про можливе підтоплення фундаменту прокатного цеху № 2 (спостережні сверд. № 3, 4, 5).

Максимальне підвищення РГВ (до 2,4 м) спостережено у сверд. № 10, розміщеній у зоні впливу радіальних відстійників

та № 9 – зі східного боку від ставка-освітлювача. За чотири роки підйом РГВ збільшився на 13 % від площі майданчика металургійного виробництва. Загалом можна виділити дві ділянки локального підвищення РГВ:

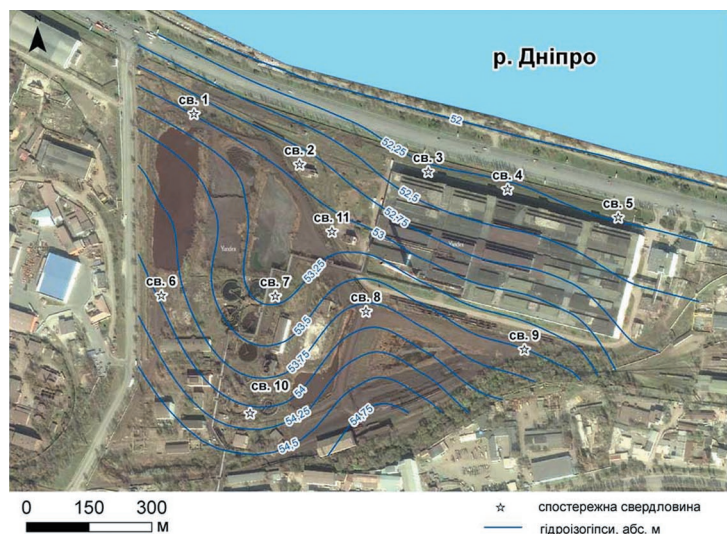
- північно-західна частина проммайданчика (спостережна сверд. № 10; радіальні відстійники, градирні);
- центральна і східна ділянки проммайданчика (спостережні сверд. № 4, 5, 9; водойма-освітлювач, прокатний цех № 2).

Істотних змін зазнав також ухил (градієнт) потоку ВГ, величини якого варіюють від 0,001 в прибережній зоні р. Дніпро (фоновий стан) до 0,015 (зона підпірного впливу витоків з інженерних споруд; спостережна сверд. № 10), тобто він може збільшуватися в'ятнадцятеро.

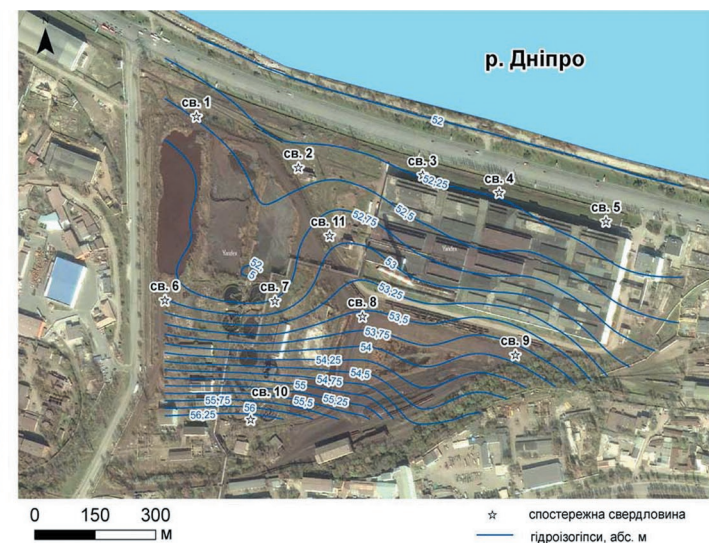
Заслугує на увагу відносне збільшення середньої швидкості підняття РГВ за період 2010–2014 рр. (чотири роки) з 0,14 м/рік до 0,24 м/рік, тобто у 1,7 раза, що корелюється зі зростанням технологічних втрат води за період 2011–2013 рр. (два роки) з 4,45 млн м³/рік до 5,84 млн м³/рік або в 1,3 раза.



Рис. 4. Зміна РГВ на території металургійного майданчика в період 2010–2014 рр.



а



б

Рис. 3. Гідроізогіпси першого від поверхні ВГ станом на: а) 2010 р.; б) 2014 р.

Хоча спостерігається стійка тенденція до зменшення використання води на виробництві, у середньому на 22 тис. м³/міс. (2011–2013 рр.), втрати води збільшуються щомісячно в середньому на 4,4 тис. м³. Загалом втрати води впродовж 2011–2013 р. зросли від 5,2 до 9,9 % від величини водозабору відповідно.

Проаналізувавши динаміку просторової структури потоку підземних вод у межах майданчика металургійного виробництва (2010–2014 рр.), можна зробити висновок про розвиток локального високоградієнтного (“купольного”) підняття рівня у південно-західній та південно-східній частинах майданчика. Це пов'язано з формуванням у межах поля складування шлакомулових відходів додаткового джерела підвищеної інфільтрації та сприятливих гідрогеологічних умов, що призводить до локального підняття РГВ.

Генезис та інтенсивність локального джерела інфільтраційного живлення ВГ. Найінформаційнішими щодо визначення походження (природного чи техногенного) додаткового джерела інфільтраційного техногенного живлення ВГ у межах промайданчика, розміщеного на території урболандшафту, є гідрогеотермальне поле ґрунтових вод.

Виконано геоінформаційний аналіз просторово-часових змін гідрогеотермального поля досліджуваного ВГ за період 2010–2014 рр., метод інтерполяції – регуляризований сплайн (ваговий параметр – 0,1; кількість точок впливу – 11). Проаналізувавши отриману цифрову поверхню (рис. 5), встановлено підвищення температури підземних вод до 2,5–4 °С на 90 % території промайданчика. Максимальне підвищення температури до +7 °С спостережено в зоні впливу градирень, радіальних відстійників (спостережні сверд. № 10, 7, 11) та на півночі в межах прокатного цеху № 2 (спостережні сверд. № 3, 4, 5). Часткове зниження температури за цей період на 8 °С відбулося західніше градирень (спостережна сверд. № 6), що може бути пов'язано зі зменшенням втрат теплих вод на сусідніх підприємствах. Загалом температура ґрунтових вод у межах території досліджень змінюється від 16 до 29 °С з фоновим значенням для алювіального водоносного горизонту 12 °С.

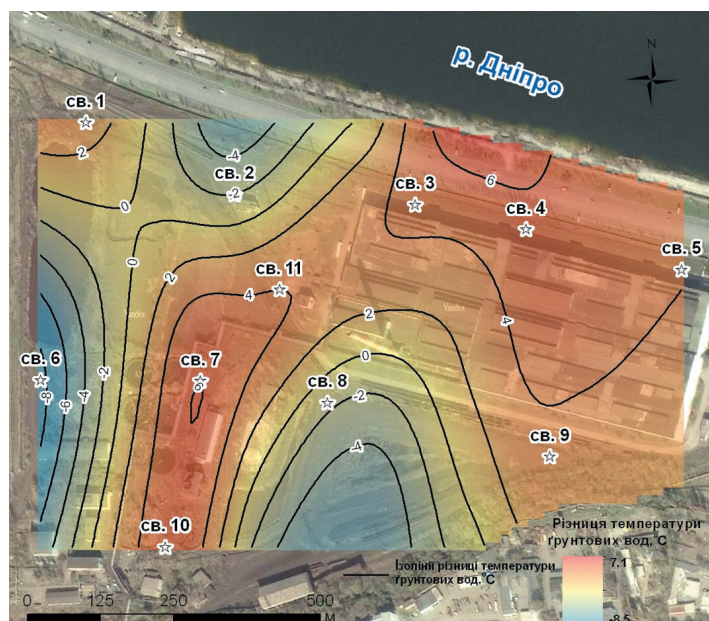


Рис. 5. Зміна температури ґрунтових вод на території металургійного майданчика в період 2010–2014 рр.

Оскільки стійке підвищення температури ґрунтових вод у межах більшої частини промайданчика металургійного виробництва з 2010 р. супроводжується зростанням утрат води в 1,3 раза, то це дає підстави зробити висновок про *техногенне походження* локального джерела стійкого інфільтраційного живлення ґрунтових вод у межах промайданчика. Збільшені втрати теплих технічних вод в умовах бар'єрного впливу насипних шарів слабопроникних шлакомулових порід (фільтраційний підпір потоку ґрунтових вод виникає внаслідок зниження проникності ущільнених техногенних відкладів) зумовлюють підвищення РГВ та зміну хімічних властивостей підземних вод, що загрожує геомеханічній стійкості порід підґрунтя та підземних бетонних і металевих конструкцій на майданчику металургійного виробництва ПАТ “ЄДМЗ”

Інтенсивність інфільтраційного живлення ВГ було оцінено за залежністю Г. Н. Каменського у фрагменті безнапірного потоку:

$$W=KI^2, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт фільтрації у перерізі потоку ВГ (за даними ДФР); I – гідравлічний градієнт потоку (за даними просторового моделювання поверхні дзеркала ґрунтових вод).

Застосування ГІС дало змогу визначити просторовий розподіл величини інтенсивності інфільтраційного живлення в межах досліджуваного майданчика (рис. 6), а не користуватися середніми значеннями параметрів для всієї площі. Модель поверхні розподілу значень показника W створено із застосуванням методу інтерполяції – зворотно зважених відстаней (ЗЗВ), який ґрунтується на припущенні, що вплив значення вимірної змінної зменшується зі збільшенням відстані від точки замірювання [4]. Значення в кожній клітинці растра визначено зі змінним радіусом для заданої кількості точок 11 (кількість замірювань). Пладкість результатівної поверхні коригувалася параметром ступеня (power – 4).

Як видно з рис. 6, величина показника W змінюється в широких межах від чотирьох (спостережна сверд. № 5) до 1300 мм/рік (спостережна сверд. № 10). Найбільше живлення (понад 300 мм/рік) ґрунтові води отримують на південному заході майданчика в зоні впливу градирень, радіальних від-

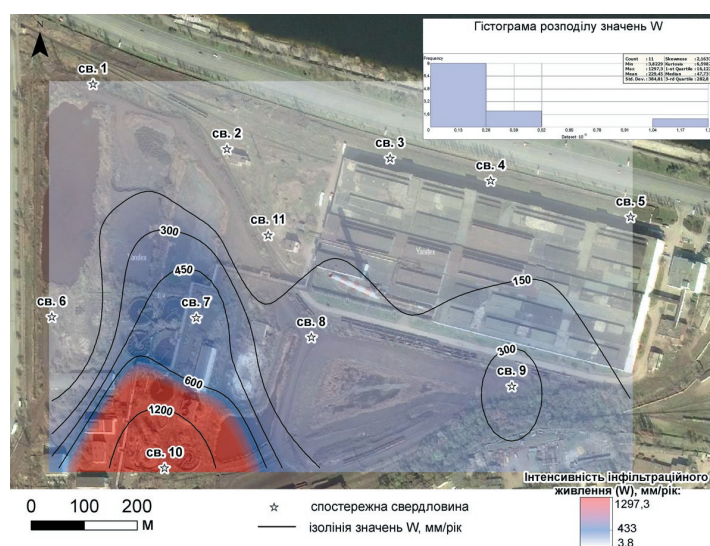


Рис. 6. Інтенсивність інфільтраційного живлення ґрунтових вод у межах майданчика металургійного виробництва ПрАТ “ЄВРАЗ ДМЗ”

стійників (спостережні сверд. № 7, 10) та на південному сході в зоні впливу ставка-освітлювача (спостережна сверд. № 9).

Згідно з фондовою звітною документацією [7], фонове водно-екологічне навантаження від зони підвищеної інфільтрації в межах призаплавних терас становить $W_{\text{фон}}=120\text{--}180$ мм/рік. Отже, оцінена величина інтенсивності інфільтраційного живлення ВГ у межах майданчика металургійного виробництва може перевищувати природні (фонові) значення у 10,8–7,2 раза: $W/W_{\text{фон}}=1300:(120\div 180)=10,8\text{--}7,2$, що свідчить про наявність локального техногенного складника в живленні підземних вод. Різниця між оціненими значеннями інтенсивності інфільтраційного живлення (W), яке отримує перший від поверхні ВГ, та природними (фоновими) значеннями $W_{\text{фон}}$ для цієї території є інтенсивністю техногенного інфільтраційного живлення $W_t=W-W_{\text{фон}}$. Просторовий розподіл значень W_t представлений на рис. 7, у розрахунках $W_{\text{фон}}=180$ мм/рік.

Найбільші обсяги додаткового інфільтраційного живлення (100–1100 мм/рік) техногенного походження отримують підземні води на південному заході майданчика (спостережна сверд. № 7, 10) та південному сході (спостережна сверд. № 9). Інтенсивність інфільтраційного живлення ґрунтових вод на території північної та західної частин майданчика є в межах природного фону для цієї території.

Ранжування території за рівнем водно-екологічного навантаження. Візуальне порівняння отриманих цифрових поверхонь гідрогеофільтраційного, гідрогеотермального поля досліджуваного ВГ, розподілу інтенсивності інфільтраційного живлення та їхньої просторово-часової динаміки свідчать про наявність взаємозумовленого зв'язку в розподілі цих параметрів. Кореляційний аналіз цифрових поверхонь методом головних компонент за допомогою аналітичного модуля Spatial Analyst дав змогу оцінити силу такого зв'язку. Тісний кореляційний зв'язок ($r=-0,73$) є між інтенсивністю інфільтраційного живлення та динамікою гідрогеофільтраційного поля ґрунтових вод, слабкий ($r=-0,16$) – між гідрогеофільтраційним і гідрогеотермальним полем ґрунтових вод (таблиця).

Інструментами накладання растра (Overlay → Weighted Sum) аналітичного модуля Spatial Analyst виконано накладання цифрових поверхонь зміни гідрогеофільтраційного,

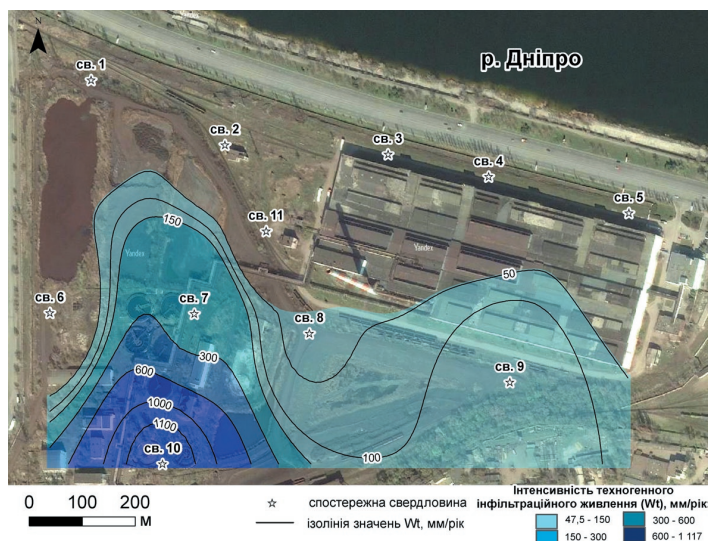


Рис. 7. Інтенсивність техногенного інфільтраційного живлення ґрунтових вод у межах майданчика металургійного виробництва ПрАТ «СВРАЗ ДМЗ»

Таблиця. Кореляційна матриця

Назва поверхні	Інтенсивність інфільтраційного живлення W	Зміна РГВ (2010–2014 рр.)	Зміна температури (2010–2014 рр.)
№ поверхні	1	2	3
1	1	–0,73	0,03
2	–0,73	1	–0,16
3	0,03	–0,16	1

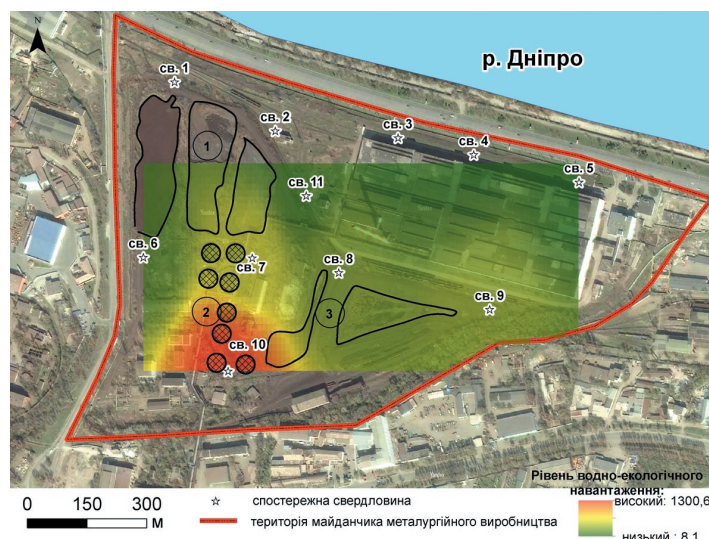


Рис. 8. Відносний рівень водно-екологічного навантаження на ґрунтові води майданчика металургійного виробництва ПрАТ «СВРАЗ ДМЗ»:

1 – шламові карти; 2 – градірні, радіальні відстійники; 3 – ставок-накопичувач, ставок-освітлювач

гідрогеотермального полів ВГ у часі та розподілу інтенсивності інфільтраційного живлення. На результативній поверхні накладання растрів (рис. 8) червоним кольором виділено зону з найвищим відносним рівнем водно-екологічного навантаження – південно-східну частину майданчика. Це зона впливу об'єктів з високими водно-фільтраційними втратами: градірень, радіальних відстійників і ставків (спостережна сверд. № 7, 10). Розміщення зони найбільшого впливу біля меж майданчика свідчить про можливий вплив прилеглих підприємств. На цій території досліджуваний ВГ за чотири роки зазнав найбільшого техногенного впливу. З інженерних очисних споруд відбуваються чималі фільтраційні втрати технологічних вод, що зумовлює підвищення РГВ та температури підземних вод.

Висновки. Техногенна трансформація ландшафту в умовах водно-техногенного навантаження створює сприятливі умови для розвитку процесів підтоплення та підвищення РГВ, які мають виняткове значення для трансформації водно-балансових параметрів і є першопричиною виникнення й активізації небезпечних процесів – осідальних, зсувних, суфозійних, а також призводять до зменшення геомеханічної стійкості підгрунтя та деформації і руйнування споруд.

У межах території майданчика металургійного виробництва ПрАТ «СВРАЗ ДМЗ» склалася сприятливі еколого-гідрогеологічні умови для підняття РГВ. Підпирний вплив створює: прибережне розміщення майданчика біля р. Дніпро з каскадом водосховищ; перетворення природних дрен-потічків у скидні колектори; сповільнення процесів випаровування вологи через ущільнення товщі шлакомуювих відкладів;

збільшення величини локального техногенного живлення підземних вод.

Унаслідок проведеного дослідження встановлено, що впродовж 2010–2014 рр. у межах майданчика металургійного виробництва ПрАТ “СВРАЗ ДМЗ” відбулися додаткові порушення рівневих, балансових і гідрогеотермальних параметрів першого від поверхні ВГ, спричинені техногенною діяльністю. Максимальне водно-екологічне навантаження отримує ділянка ВГ у південно-західній частині майданчика (спостережна сверд. № 7, 10).

У разі збереження виявлених тенденцій є ризик подальшого погіршення інженерно-гідрогеологічних умов до критичного рівня, що може призвести до зниження міцності заглибленого підґрунтя відповідальних споруд на території майданчика металургійного виробництва ПрАТ “СВРАЗ ДМЗ”, розвитку процесів хімічної та електрохімічної корозії.

Рекомендовано вжити комплекс заходів щодо зменшення втрат води з інженерних мереж та очисних споруд ПрАТ “СВРАЗ ДМЗ”, а також підвищити інформативність моніторингової мережі за станом підземних вод, а саме: розширити мережу за межі ділянки металургійного виробництва, щоб дослідити вплив сусідніх підприємств та урболандшафту загалом; обладнати свердловини з фільтрами на техногенний водонасичений шлакомуючий шар для достовірних оцінок фільтраційних параметрів двошарового ВГ. Ужиття запропонованих заходів дає змогу вивести на якісно новий рівень далі дослідження та керування еколого-гідрогеологічним та інженерно-геологічним станом майданчика.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод (методическое руководство). – М.: “Недра”, 1970. – 216 с.
2. Боровский Б. В., Самсонов Б. Т., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. – М.: “Недра”, 1979. – 327 с.
3. Волошин П. К. Моніторингові дослідження підземних вод урбосистеми Львова//Наук. праці УкрНДГМІ. – 2003. – Вип. 252. – С. 80–96.
4. Дегтярєв Б. М., Дзекер Е. С., Муфтахов А. Ж. Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 264 с.
5. Олейник А. Я., Крємез В. С., Добронравов А. А. Математическое моделирование экологических катастроф, связанных с изменением режима грунтовых вод//Сучасні проблеми теорії фільтрації. – Рівне: НУВГП, 1998. – С. 113–118.
6. Осипов В. В. Анализ методов создания цифровых моделей поверхностей//Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-sozdaniya-tsifrovyyh-modeley-poverhnostey>
7. О перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод по Днепровско-Донецкому артезианскому бассейну (в пределах УССР)/Л. С. Крыжановский, Д. Р. Литвак и др. – К.: Мингеология УССР, 1977. – 606 с.
8. Отчет об устройстве локальной сети наблюдательных скважин для проведения мониторинга качественного состояния подземных вод в зоне влияния комплекса очистных сооружений оборотных циклов водоснабжения № 1, 3, 5: исполнительная документация/А. В. Станкевич, В. В. Рыбкин, С. И. Лужанский. – Днепропетровск: ООО Промышленная группа “Энергострой”, 2010. – 35 с.
9. Покровский В. Д. Исследование процессов подтопления урбанизированных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере города Томска): Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. наук [25.00.07 – гидрогеология]. – Томск: “Национальный исследовательский Томский политехнический университет”, 2015. – 213 с.
10. Щербак О. В., Пампуха Г. Г., Мещеряков С. В., Яковлев Є. О., Долін В. В. Техногенна еволюція еколого-гідрогеологічних умов

унаслідок складування відходів металургійного виробництва//Гідрогеологія: наука, освіта, практика: матеріали III наукової конференції (м. Харків, 2–4 листопада 2016 р.). – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – С. 135–138.

11. Cirtina D., Traista E. Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality//Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2014. – (49, 3). – P. 311–315.

12. Cirtina D., Ionescu N., Cirtina L. Environmental impact assessment related to metallurgical industry activities//Metalurgija. – 2016. – (55, 3). – P. 481–484.

REFERENCES

1. Bindeman N. N., Jazvin L. S. Estimation of the operational groundwater resources (methodical guidance). – Moskva: Nedra, 1970. – 216 p. (In Russian).
2. Borevskii B. V., Samsonov B. T., Yazvin L. S. Methodology of determination of the parameters of aquifers according to pumping data. – Moskva: Nedra, 1979. – 327 p. (In Russian).
3. Voloshyn P. K. Monitoring studies of groundwater of Lviv Urbosystem//Nauk. pratsi UkrNDHMI. – 2003. – Vol. 252. – P. 80–96. (In Ukrainian).
4. Degtyarjov B. M., Dzekcer E. S., Muftahov A. Zh. Protection of the foundations of buildings and structures against the impact of groundwater. – Moskva: Strojizdat, 1985. – 264 p. (In Russian).
5. Olejnik A. Ja., Kremez V. S., Dobronravov A. A. Mathematical modeling of environmental disasters associated with changing in groundwater regime//Suchasni problemy teorii filtratsii. – Rivne: NUVHP, 1998. – P. 113–118. (In Russian).
6. Osipov V. V. Analysis of methods for creating digital models of surfaces//Interjekspo Geo-Sibir. – 2011. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-sozdaniya-tsifrovyyh-modeley-poverhnostey> (In Russian).
7. Forward-looking assessment of the operational groundwater resources of the Dnieper-Donets artesian pool (within the Ukrainian SSR)/ L. S. Kryzhanovskij, D. R. Litvak etc. – Kiev: Mingeologii USSR, 1977. – 606 p. (In Russian).
8. Report on the arrangement of a local network of observation wells for monitoring the quality of groundwater in the influence zone of a complex of treatment facilities for circulating water supply cycles No. 1, 3, 5: executive documentation/A. V. Stankevich, V. V. Rybkin, S. I. Luzhanskij – Dnepropetrovsk: ООО Promyshlennaya gruppa “Jenergostroj”, 2010. – 35 p. (In Russian).
9. Pokrovskij V. D. Research of flooding processes on the urbanized territories using geoinformation technologies (on an example of the city of Tomsk): The dissertation on competition of a candidate degree of geological and mineralogical sciences [25.00.07 – hydrogeology]. – Tomsk: “Nacionalnyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet”, 2015. – 213 p. (In Russian).
10. Shcherbak O. V., Pampukha H. H., Meshcheriakov S. V., Yakovlev Ye. O., Dolin V. V. Technogenic evolution of ecological and hydrogeological conditions as a result of storage of metallurgical production waste//Hidrogeologhiia: nauka, osvita, praktyka: materialy III naukovoї konferentsii (Kharkiv, 2–4 November, 2016). – Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina, 2016. – P. 135–138. (In Ukrainian).
11. Cirtina D., Traista E. Research on the influence of metallurgical industry waste on soil and groundwater quality//Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2014. – (49, 3). – P. 311–315.
12. Cirtina D., Ionescu N., Cirtina L. Environmental impact assessment related to metallurgical industry activities//Metalurgija. – 2016. – (55, 3). – P. 481–484.

Рукопис отримано 2.07.2018.