

5. Виконані дослідження вказують на необхідність більш детального вивчення властивостей ґрунтів тривалого зберігання при рекультивації на кар'єрах України.

#### Список литературы

1. Рекомендации по рекультивации техногенных ландшафтов / [Кобец А.С., Узбек И.Х., Волох П.В. и др.]; под ред. И.Х. Узбека, П.В. Волоха.- Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2011.-160 с.
2. Фаткулин Ф.А., Андроханов В.А. Изменение свойств плодородного слоя почвы, складированного в целях рекультивации на угольных разрезах КАТЭКа // Тез. докл. Республ. науч. конф. "Экология и охрана почв засушливых территорий Казахстана". — Алма-Ата, 1991. — С. 216-217.
3. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. В.А. Андроханов, С.В. Овсянникова, В.М. Курачев. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. — 200 с.
4. Баранов Ю. Д., Зберовский А. В. Исследование физико-химических свойств черноземов при их длительном хранении в процессе горнотехнической рекультивации // Сборник научных трудов НГУ.- Дніпропетровськ: РИК НГУ.- 2010.-№35, Т.2.- С. 219 -225.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 17.10.2012*

УДК 556.332.634

© О.В. Інкін, Д.В. Рудаков

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ЗОН ПІДВИЩЕНОЇ ПРОНИКНОСТІ ВОДОТРИВУ НА ЛОКАЛІЗАЦІЮ ПІДТОПЛЕНИХ ДІЛЯНОК**

Обґрунтований спосіб дренажного захисту підтоплених територій правобережжя м. Дніпропетровська заснований на штучному збільшенні проникності водотриву під верхнім водоносним шаром та відведенні надлишкової води до нижніх горизонтів. За допомогою програми ModFlow 2009 (Schlumberger W.S.) створена гідродинамічна модель роботи системи поглинаючих свердловин в умовах природного і техногенного інфільтраційного живлення. Визначена схема оптимального розташування "фільтраційних вікон" з урахуванням рельєфу і забудованості досліджуваної території, що забезпечує локальне зниження рівня ґрунтових вод. Визначено розподіл змін рівня та складові балансу підземних вод після переведення підтоплених ділянок в режим самодренування.

Обоснованный способ дренажной защиты подтопленных территорий правобережья г. Днепропетровска основан на искусственном увеличении проницаемости водоупора под верхним водоносным пластом и отведении избыточной воды к нижним горизонтам. С помощью программы ModFlow 2009 (Schlumberger W.S.) создана гидродинамическая модель работы системы поглощающих скважин в условиях естественного и техногенного инфильтрационного питания. Определена схема оптимального расположения "фильтрационных окон" с учетом рельефа и застроенности исследуемой территории, которая обеспечивает локальное снижение уровня грунтовых вод. Определено распределение изменений уровня и составляющих баланса подземных вод после перевода подтопленных участков в режим самодренирования.

An approach for protection of flooded areas in the right bank side of Dnipropetrovsk is justified; it is based on artificial increase in permeability of the low-permeable bed under the upper aqui-

fer, which intensifies seepage of excessive water to the lower aquifer. The flow model for performance of the absorbing well system under natural and man-made infiltration recharge is developed using the software ModFlow 2009 (Schlumberger WS). The optimal placing of “permeable windows” is determined that takes into account relief features and building locations within the studied area; this provides the maximum sinking of groundwater head. The distribution of groundwater head and its balance components after transition of the flooded areas in the self-drainage mode are evaluated.

**Проблема та її зв'язок з практичними завданнями.** Підтоплення на територіях сотень населених пунктів України значно активізується у весняний період. Десятки років не ремонтвані зливостоки і каналізаційні колектори, як правило, вже не здатні витримати різкого збільшення атмосферних опадів. В результаті цього перезвожуються ґрунти та підвищується рівень підземних вод. Це призводить до зрушення схилів балок, затоплення підвалів або підвір'їв житлових будинків, а в кінцевому підсумку – до порушення стійкості природного середовища.

Проблема підтоплення території Дніпропетровська з'явилася кілька десятиліть тому і з часом тільки загострюється. Аналіз палеогідрогеологічної обстановки території міста, динамічного режиму ґрунтових вод і стану їх балансу свідчать про складність механізму формування процесу підтоплення. У сучасному вигляді підтоплення міської території – достатньо розвинене явище, яке спостерігається практично усюди, як на ділянках з пониженим рельєфом і проникними піщаними ґрунтами (лівобережжя і нижні тераси правобережжя), так і в межах районів правобережжя з більш високими позначками земної поверхні, складених слабопроникними лесовими суглинисто-супіщаними породами.

Результати досліджень підтоплення свідчать про значну і прогресуючу ураженість міської території. Так, площі з глибиною залягання ґрунтових вод до 3 метрів, тобто практично підтоплені землі у межах промислових і забудованих ділянок міста, займають 9421 га (33% від загальноміської території), у тому числі по правобережжю – 2983 га (17% територій правобережжя), по лівобережжю – 6437 га (55%) [1]. У підтопленому стані знаходиться значна територія житлових масивів Перемога, Червоний Камінь, Комунар, Парус, Тополя. При збереженні існуючого водного балансу і з посиленням техногенної інфільтрації зростання рівня ґрунтових вод триватиме і надалі.

**Аналіз досліджень.** Незважаючи на відповідні прогнозні оцінки, які були дані ще на початку 90-х років минулого століття, комплексні заходи, спрямовані на запобігання розвитку підтоплення в Дніпропетровську, не проводилися у повному обсязі і не дали очікуваних результатів. У 1998 р., коли ситуація з підтопленням стала катастрофічною, були ініційовані і розроблені такі документи: "Комплексна програма ліквідації наслідків підтоплення територій в містах і селищах України" (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 160 від 15 лютого 2002 р.) і "Комплексна програма захисту від шкідливої дії вод сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь в Україні" (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 173 від 26 липня 2000 р.). Програми захисту від підтоплення виявилася недостатніми, оскільки у більшості випадків в їх рамках передбачалися тільки аварійно-

відновні роботи, а не заходи, спрямовані на запобігання виникнення і збільшення підтоплення. Так, за повідомленнями прес-служби Дніпропетровської міської ради для ліквідації наслідків весняного підтоплення на території міста планувалось задіяти 177 насосів підрозділів МНС України і реконструювати пошкоджені об'єкти водного господарства (дощо-приймальні колодязі, зливові системи і колектори). Проте, незважаючи на пропоновані заходи, до теперішнього часу 22 км<sup>2</sup> території міста знаходяться під ризиком затоплення весняними паводками [2].

**Постановка завдання.** Аналіз існуючих програм свідчить про необхідність їх удосконалення шляхом забезпечення робіт, пов'язаних із попередженням підтоплення та його наслідків, а також узгодження відповідних заходів на державному, регіональному і місцевому рівнях. У зв'язку з цим метою роботи є виявлення зон з небезпечно високим рівнем ґрунтових вод і обґрунтування параметрів дренажних споруд які мають забезпечити тривалий ефект самодренування підтоплених ділянок.

Досягнення цієї мети вимагає рішення наступних завдань: 1) виконати кількісну геолого-гідрогеологічну оцінку чинників підтоплення на території м. Дніпропетровська; 2) визначити підтоплені ділянки, де застосування пропонованого дренажу матиме найбільший ефект; 3) обґрунтувати ефективність спорудження і розробити рекомендації ефективного використання поглинаючих свердловин.

**Викладення матеріалу та результати.** Запропонований в проекті спосіб дренажного захисту пропонується для території житлового масиву Тополя-1, режим рівня ґрунтових вод на якому характеризується як техногенно-порушений з чітко вираженою тенденцією до підйому. Величина інфільтраційного живлення за рахунок техногенезу місцями збільшена до 800 мм/рік. З моменту освоєння території рівень ґрунтових вод піднявся на 13-18 м. При цьому на початку будівництва він знаходився на глибині 19-23 м, а зараз вже знаходиться на глибині 2-3 м. Незважаючи на загальний підйом рівня на досліджуваній території, зміна його положення відбувається по різному на різних ділянках. При цьому виділяються особливо небезпечні ділянки з глибиною залягання підземних вод до 1 м, що вимагають першочергового дренажного захисту.

Житлової масив Тополя-1 розташований в межах вододільної частини між р. Дніпро і балкою Попова, на схилі останньої. Абсолютні позначки поверхні землі – 101-158м. В геологічному відношенні вона представлений відкладеннями четвертинної, неогенової і палеогенової систем.

Палеогенові відкладення розкриті в тальвегу б. Попова на абсолютних позначках 54,5-56,3 м. Представлені вони зеленувато-сірими алевритами потужністю 9-10 м з великим вмістом черепашки і твердої, темно-сірої глини. Вище палеогенових відкладень в межах ділянки повсюдно поширені неогенові полтавські піски від сірих до білих, місцями кварцові, дрібнозернисті та однорідні. Абсолютні відмітки покрівлі пісків 81,4-88,1 м. Над пісками залягають неогенові глини від світло-сірого до білого кольору, їх потужність змінюється від 5 до 12 м.

Відкладення четвертинної системи залягають на відкладах неогену. Потужність їх на вододілі 35-50 і більше метрів, в тальвегу б. Попова – 11-14,5 м. Харак-

терною особливістю четвертинних відкладень є чергування шарів лесу з лесоподібними суглинками і супіщаними ґрунтами. Ґрунтово-рослинний шар розвинений повсюдно, за винятком бортів балки.

Перший водоносний горизонт приурочені до четвертинних відкладень. Водовміщуючі породи – леси і суглинки. Потужність водоносного горизонту максимально складає 25-27 м та визначається прийнятим положенням відносного водотриву, яким є неогенові глини. Водоносний горизонт безнапірний, ухил рівня – в бік б. Попова. Напрямок потоку збігається із загальним нахилом водотриву. Коефіцієнти фільтрації змінюються від 0,01 до 1,2 м/добу. Природне інфільтраційне живлення становить 6-18 мм/рік. Розгрузка підземних вод – в струмок б. Попова, в нижній водоносний горизонт, а також шляхом випаровування і транспірації.

Другий від поверхні водоносний горизонт приурочений до полтавських пісків, нижче яких залягають темно-сірі глини. Площа водоносного горизонту залежить від наявності та площі глин в підшві пісків, а також від водопроникності порід покрівлі, через які відбувається перетік ґрунтових вод. Потужність водоносних пісків 8-12 м. Водоносний горизонт напірно-безнапірний. Абсолютні позначки рівня 92,3-113,67 м. Коефіцієнт фільтрації пісків становить 1,32 м/добу.

Аналіз геолого-гідрогеологічних умов показує, що при прогнозуванні гідрогеологічної обстановки в умовах пропонованого дренажного захисту розрахункова схема має бути представлена двома водоносними горизонтами: четвертинних (перший) і неогенових відкладень (другий). Матеріал, що фільтрує, в стволах вертикальних поглинаючих свердловин являється водонасиченим ( $K = 30 \div 50 \text{ м/сут}$ ). Оскільки коефіцієнт фільтрації матеріалу значно більше коефіцієнту фільтрації глин, той рух води в ньому відбувається тільки у вертикальному напрямку, завдяки чому увесь дренажний стік повністю надходить до нижнього горизонту.

На рис. 1 наведена схема поглинаючої свердловини, дренуючий ефект якій оцінюється фільтраційною витратою через поперечний переріз ствола площею  $F = \pi r_0^2$ . З точки зору екологічної безпеки принципова допустимість такого скидання є припустимою з урахуванням фактичної експлуатації нижнього водоносного горизонту і підтверджується даними про хімічний склад і якість підземних вод першого горизонту. Слід зауважити, що другий горизонт наразі не використовується для водопостачання міста.

Створення фільтраційних вікон може бути здійснене з допомогою буріння свердловин стандартного діаметру ударно-канатним чи роторним способом і подальшим їх розширенням у водотривкому шарі відомими у буровій справі методами [3]. В той же час, раціональнішим є використання запропонованого і запатентованого автором пристрою для розширення свердловин [4]. Цей пристрій, завдяки введенню додаткового породоруйнівного органа, забезпечує одночасно буріння та розширення свердловини, і за рахунок цього – зниження матеріальних витрат і часу, необхідного для проведення робіт.

Ефективність запропонованого способу захисту території була обґрунтована прогнозним моделюванням змін рівня підземних вод у разі устаткування поглинаючих свердловин на небезпечних ділянках житлового масиву Тополя. Методика чисельного моделювання фільтрації підземних вод, яка

використовувалась при дослідженнях, ґрунтується на скінченно-різницевому розв'язку рівняння планової неусталеної фільтрації у шаруватій товщі порід [5]. Розв'язок рівнянь був проведений за допомогою ліцензійного програмного забезпечення «MODFLOW v. 4.5» (Schlumberger Water Services, Канада), призначеного для моделювання гідрогеологічних процесів у підземних водах.

Моделювана область фільтрації охоплює найбільш небезпечну частину території житлового масиву. Її площа складає 2.26 км<sup>2</sup> і обмежена на півночі – по лінії дренажної штольні вздовж залізничного тунелю, на північному заході – по лінії тупикового дренажу на ділянці вздовж залізниці, на заході – водострумом в б. Попова, на сході – лінією вододілу між р. Дніпро і б. Попова (лінія вододілу підземних вод) і на півдні – лінією течії, встановленої по карті гідроізогіпс (Запорізьке шосе – шляхопровід). Область фільтрації була розбита на 5658 блоків (82x69). Крок сітки дорівнює 20 м і тільки в блоках, що примикають до межі з дренажної штольнею, він збільшений до 40-80 м. Схема області фільтрації і розташування дренажних вікон на території ж/м Тополя-1 наведена на рис. 2.

Фільтрація в зоні впливу вертикальних поглинаючих дренажних свердловин вважається усталеною, що цілком прийнятно для умов їх тривалої експлуатації [5]. Фільтрація в самій поглинаючій свердловині є вільною, вертикальною, з усталеною витратою, яка надходить до нижнього водоносного горизонту. Проектовані фільтраційні вікна задавалися на моделі в зонах максимального підтоплення, де положення рівня ґрунтових вод приймало катастрофічний характер. При цьому шляхом рекогносцирування на місцевості в межах виділених зон знаходилися ділянки їх доцільного розташування, вільні від забудов і комунікацій.

Прогнозна задача була вирішена за умови, що винесення теплотрас на поверхню і заміна водопроводів на окремих ділянках досліджуваної території робиться не буде, а режим техногенної інфільтрації не зміниться. Введення проєктованих дренажних заходів має призвести до зниження рівня підземних вод і збільшення потужності зони аерації, що, у свою чергу, повинно стабілізувати живлення підземних вод за рахунок інфільтрації, як атмосферних опадів, так і з техногенних джерел. На рис.3, 4 приведено початкове положення рівня підземних вод і прогнозне зниження рівня під впливом роботи усіх шести фільтраційних вікон.

Аналіз результатів розрахунків показує, що при перетіканні підземних вод через дренажні «вікна» у нижній водоносний горизонт, максимальне пониження рівня у верхньому горизонті (четвертинні відкладення) складе 3 метри. Площа, в межах якої станеться пониження рівня підземних вод на 1,5-2 м приблизно 0,5 км<sup>2</sup>. Вона має охопити найбільш небезпечні ділянки на житловому масиві, зокрема на ділянках між будинками № 15,16 і вул. Панікахи, вул. Джинчарадзе, розташування гаражів, схилу біля шляхопроводу, тальвегу балки і котельної. При цьому істотного підвищення рівня в полтавських пісках не спостерігається. Як видно з отриманих результатів, поглинаючі свердловини є ефективним способом пониження рівня підземних вод на локальних ділянках підтоплення.

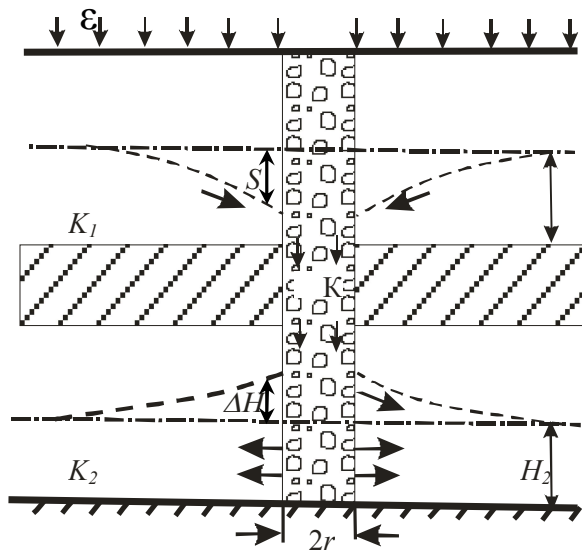


Рис. 1. Схема вертикальної поглинаючої свердловини:  $S$  – пониження рівня ґрунтових вод;  $H_1, H_2, K_1, K_2$  – відповідно потужність верхнього і нижнього водоносного горизонту та їх коефіцієнти фільтрації;  $r_0$  – радіус ствола свердловини заповненого матеріалом з коефіцієнтом фільтрації  $K$ ;  $\Delta H_2$  – підвищення рівня підземних вод в нижньому горизонті;  $\epsilon$  – інфільтраційне живлення

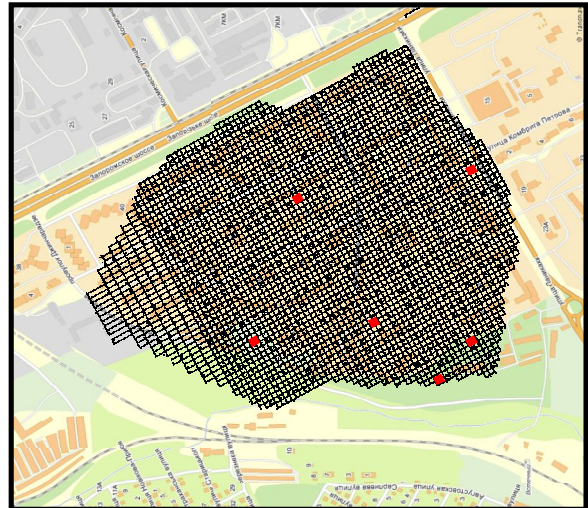


Рис. 2. Схема розташування «фільтраційних вікон» на ж/м Тополя-1:  
■ – місце розташування поглинаючих свердловин

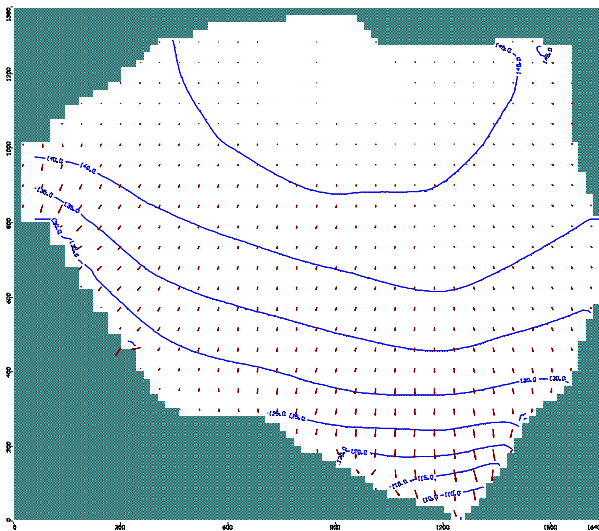


Рис. 3. Початкове положення рівня підземних вод на досліджуваній ділянці до експлуатації поглинаючих свердловин

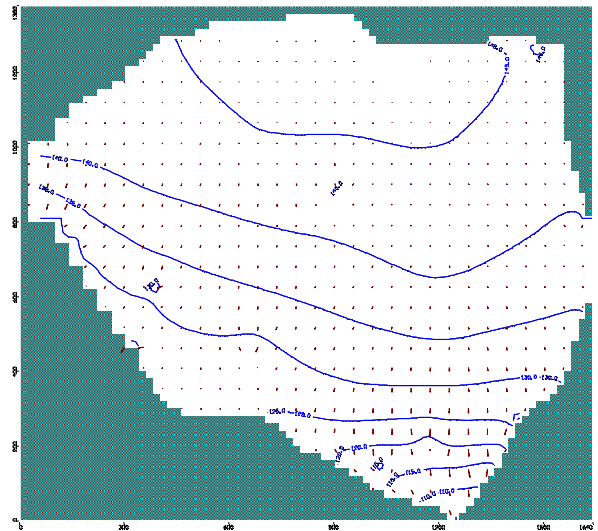


Рис. 4. Прогнозне положення рівня ґрунтових вод при експлуатації поглинаючих свердловин

Балансові складові підземних вод при роботі проєктованих дренажних заходів приведені на рис. 5. Їх аналіз показує, що до експлуатації поглинаючих свердловин (рис. 5 а) надходження підземних вод до першого водоносного горизонту, в основному, відбувається за рахунок інфільтрації (91%), і у меншій мірі за рахунок припливу з меж (9%). При цьому 72% води, що надходить, витрачається на межах і тільки 28% потрапляють в другий водоносний горизонт.

При експлуатації поглинаючих свердловин (рис. 5 б) надходження підземних вод до першого водоносного горизонту також відбувається, в основному, за рахунок інфільтрації (86%), хоча має дещо збільшитись приплив з меж (14%). Слід відзначити істотний ефект фільтраційних «вікон», які майже удвічі (до 52% чи 218 м/добу) збільшать перетікання до нижнього горизонту.

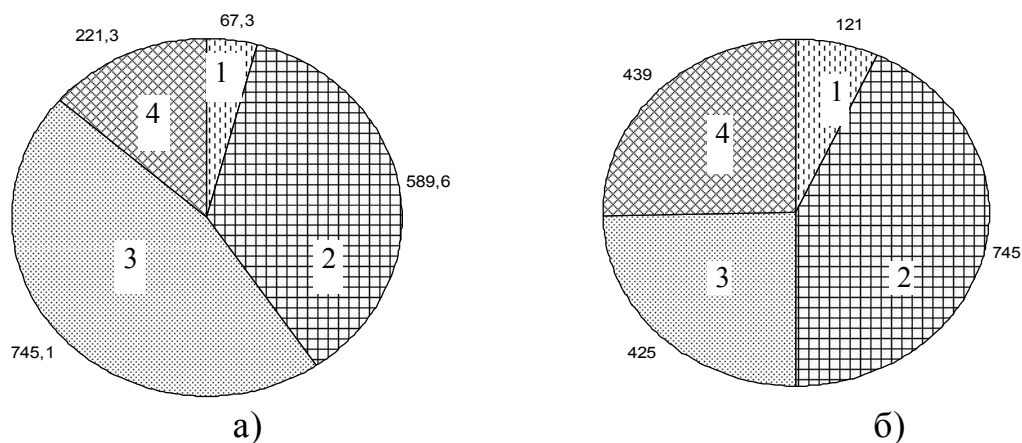


Рис. 5. Балансові складові підземних вод (м<sup>3</sup>/добу) до устаткування (а) і при роботі пропонуванних дренажних заходів (б): 1 – надходження підземних вод за рахунок припливу з-за меж; 2 – надходження підземних вод за рахунок інфільтрації; 3 – витрати підземних вод на межах; 4 – перетікання підземних вод у другий водоносний горизонт

Значно менша частина ґрунтових вод буде розвантажуватись на тій частині межі ділянки, де у 1997 р. стався масштабний зсув, зокрема, внаслідок замочування ґрунтів. Підземні води, що перетікають у другий водоносний горизонт, далі повністю витрачаються на його межах. При цьому рівень підземних вод у ньому істотно не зростає.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Головними причинами підйому рівня підземних вод четвертинних відкладень на ж/м Тополя-1 є: техногенні витіки з водних комунікацій; скорочення випару в результаті екранування території будівлями і асфальтом; полив садових ділянок поблизу області розвантаження підземних вод; ріст інфільтраційного живлення за рахунок атмосферних опадів в результаті зменшення потужності зони аерації і збільшення вологості порід; зміна умов поверхневого стоку за рахунок забудови території. З моменту освоєння території рівень ґрунтових вод піднявся

на 13-18 м. Існуючі дренажні заходи не можуть попередити появу ділянок з малою глибиною залягання рівня ґрунтових вод.

Розроблена чисельна геофільтраційна модель відтворює перетікання ґрунтових вод з верхнього четвертинного горизонту слабопроникних лесових відкладень до нижнього горизонту неогенових пісків з урахуванням зон штучної підвищеної проникності водотривкого глинистого шару за рахунок поглинаючих свердловин. За результатами чисельного моделювання встановлено, прогнозне пониження рівня підземних вод в умовах експлуатації фільтраційних «вікон» складе від 1,5 до 3 м на площі близько 0,5 км<sup>2</sup>.

Баланс підземних вод показує, що вступ підземних вод в перший водоносний горизонт, в основному, відбувається за рахунок інфільтрації (86%), і у меншій мірі за рахунок припливу з меж (14%). При цьому пропонувані поглинаючі свердловини збільшують майже вдвічі (з 28 до 52%) потік підземних вод до нижнього горизонту. Підземні води що перетікають в другий водоносний горизонт, практично не впливають на рівень підземних вод у ньому.

Подальший розвиток цієї роботи доцільний шляхом оцінки ефективності запропонованого способу дренажного захисту в інших гірничо-геологічних умовах і апробації його на практиці. Крім того, потрібний розрахунок економічних показників, що досягаються за рахунок відвернення соціально-екологічних збитків від ураження підтопленням територій.

#### Список літератури

1. Зеленська Л. Екологічний атлас Дніпропетровської області / Л. Зеленська, Н. Дук. – Київ-Дніпропетровськ: НВП «Картографія», 1995. – 26 с.
2. Риск подтопления улиц в Днепропетровске [Электронный ресурс] // Lopata городской портал. – 2010. – Режим доступа к журналу: <http://www.lopata.in.ua/novosti-dnepropetrovsk/vazhnie/risk-podtopleniya-ulits-v-dnepropetrovske>. – Название с экрана.
3. Басарыгин Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин / Ю.М. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. – М.: Недра, 2001. – 675 с.
4. Пат. 39281 А Україна, МПК Е 21В10/26, Е 21В10/32. Пристрій для розширення свердловини / Є.Ф. Гаврич, О.В. Інкін; заявник та патентовласник Національна гірнична академія України. – № 99073970; заявл. 13.10.99; опубл. 15.06.01; Бюл. № 5.
5. Мироненко В.А. Динамика подземных вод: Ученик для вузов / В.А. Мироненко. – М.: издательство «Горная книга», 2009. – 519 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Садовенко І.О.  
Надійшла до редакції 30.10.2012*