

О. С. Кирилюк, здобувач (Інститут проблем природокористування та екології НАН України), 20kiril20@gmail.com,

П. Г. Пігулевський, д-р геол. наук, старший науковий співробітник (Інститут геофізики НАН України), pigulev@ua.fm,

В. К. Свистун, директор (Дніпропетровська геофізична експедиція “Дніпрогеофізика”), dpge@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИХ МЕТОДІВ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ СПОРУД НА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ПІВДЕННОГО КРИВБАСУ

Розглянуто методику розрахунку можливого впливу техногенних споруд – шламо- та водосховищ на гідрогеологічний режим території південної частини Кривбасу. Для визначення особливостей коливань рівня першого від поверхні водоносного горизонту, у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС) природно-техногенного характеру, запропоновано алгоритм оцінки значень складової сучасного рівня “підтоплення” за даними геолого-геофізичних спостережень.

Ключові слова: Кривбас, підземні води, підтоплення, надзвичайна ситуація, геолого-геофізичні дослідження, рівняння регресії.

Вступ

За 140 років експлуатації Криворізького залізничного басейну (Кривбасу) накопичилося дуже багато складних техногенних проблем. Тривале навантаження на природне середовище та збільшення споживання природних ресурсів зумовлює нарощування обсягів відходів гірничодобувної промисловості, утворення порожнин, провалів, зсувів та підтоплення й такими ж темпами спричиняє деградацію довкілля та може призвести до НС природно-техногенного характеру [1–6]. Висока щільність розміщення найбільших техногенних об’єктів – шламосховищ і водосховищ, а також великих відвалів кристалічних та осадових порід характерна для південної частини Кривбасу. Наявність цих техногенних споруд певним чином впливає на гідрогеологічний режим території й обумовлює її водонасиченість [1, 2, 5, 6].

Актуальність. З досвіду знаємо, що дослідження з одержання відомостей про вплив техногенних складових підтоплення на довкілля не повною мірою забезпечують територіальні адміністративні органи управління інформацією для прийняття відповідних рішень щодо запобігання НС. Особливо таке становище характерне для територій, де сконцентровано гірничозбагачувальні комбінати (ГЗК) з великими техногенними спорудами.

Метою статті є розробка методики визначення сучасної техногенної складової в коливаннях рівня першого водоносного горизонту для території південної частини Кривбасу, яка може активно проявитися в разі НС на території центральної України, у випадку одночасного формування в просторі та часі різного роду джерел небезпеки, і певним чином дестабілізувати життєдіяльність регіону.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Аналіз літератури з означеної проблематики [1–3] довів, що в ній здебільшого приділено недостатньо уваги сучасним процесам природно-техногенного характеру, які в будь-який момент можуть спричинити НС. З урахуванням дії всіх чинників процес зміни узагальненого режиму підземних вод, який представлено у вигляді суперпозиції природної (систематичної) і техногенної складових, залежить від рівня наповнення шламосховищ і водосховищ. Якщо систематичну складову процесу можливо оцінити за результатами натурних спостережень у свердловинах та колодязях, то оцінка техногенної складової цього процесу потребує неабиякої активізації робіт у розв'язанні геолого-геофізичних аспектів досліджень цих проблем.

Постановка завдання та його вирішення. Надзвичайно складні гідрогеологічні умови в зоні діяльності гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу [1–3] обумовлюють потребу забезпечити адміністрацію міських агломерацій та ГЗК оперативними й ефективними гідрогеологічними прогнозами для прийняття відповідних, адекватних масштабам і темпам змін, управлінських рішень для запобігання надзвичайним ситуаціям.

З огляду на вищезазначене, постає завдання з оцінки впливу техногенної складової. Для його розв'язання в роботі розглянуто методику геолого-геофізичних досліджень і розроблено алгоритм оцінки та подальшого прогнозу сучасної техногенної складової в процесі коливань рівня першого водоносного горизонту на території південної частини Кривбасу.

Ефективність його вирішення залежить від ретельного збору та вивчення результатів усіх раніше проведених геологічних, гідрогеологічних та геофізичних робіт, їхнього аналізу, на основі якого можливо визначити оптимальний комплекс та методику геофізичних досліджень [4–6] і виділити сучасну техногенну складову як функцію уявного опору зони аерації у вигляді рівняння лінійної регресії, визначеної за результатами геоелектричних досліджень поблизу шламо- та водосховищ [4].

Унаслідок узагальнення геофізичних робіт, виконаних на площі досліджень у минулі роки, було проведено спостереження методом вертикального електричного зондування (ВЕЗ).

Дослідження ВЕЗ виконували на 14 окремих профілях (рис. 1) значної довжини з кроком спостережень 200 м та орієнтацією ближче до субширотного й субмеридіонального напрямків з окремими відхиленнями залежно від умов місцевості (орієнтації доріг, насаджень та ін.).

Основне завдання цих досліджень полягало у виявленні пластів гірських порід з різним електричним опором, які вважаються водопровідними або водотривкими горизонтами, та визначення за показниками електричного опору характеру їхнього зволоження й розміщення в них зон підвищеної проникності.

Повторні лінійні ВЕЗ виконано на основних профілях з інтервалом в 4 роки для моніторингу геоелектричних параметрів порід розрізу в часі й встановлення в них змін, пов'язаних з просторово-часовими змінами гідрогеологічних умов протягом 2008–2012 рр.

Як показали результати повторних спостережень, уявний опір геологічного розрізу суттєво зменшується. При цьому зміни спостерігаються як у вище-, так і нижчерозміщених пластах унаслідок збільшення зволоження мінералізованими водами. Зниження геоелектричного опору за чотири роки простежено майже по всьому розрізу осадового чохла, що засвідчує перебіг сучасних гідрогеологічних процесів в напрямку зволоження майже всіх горизонтів.

Отримані дані свідчать також про наявність вертикальних зон, у межах яких відбувається або посилена фільтрація в обох напрямках, або її істотне послаблення. Саме ці зони можуть контролюватися розривними тектонічними порушеннями різного ступеня проникності.

На шістнадцяти гідрогеологічних пунктах, які представлені свердловинами та колодязями, було виконано заміри рівня води в 2008 та 2012 рр. З них у тринадця-

ти рівень води піднявся (таблиця). Аналіз зміни рівня води першого від поверхні водоносного горизонту в цих пунктах засвідчив його прямий зв'язок зі зміною уявного опору (рис. 2).

Розглядаючи залежність рівня води першого від поверхні водоносного горизонту у вигляді моделі:

$$y = \alpha + \beta x + u, \quad (1)$$

де y – залежна змінна, x – незалежна змінна, α і β – параметри рівняння, u – випадкова стохастична величина, що має нульове

математичне очікування й постійну дисперсію, оцінюємо параметри моделі методом найменших квадратів та визначаємо величини коефіцієнтів α і β .

На підставі одержаних параметрів рівняння лінійної регресії матиме вигляд:

$$\tilde{y} = 0,2532 \cdot x - 0,0174, \quad (2)$$

де коефіцієнт $b = 0,2532$ показує, що збільшенням різниці між значеннями вимірів у 2008 і 2012 рр. уявного опору на 1 Ом рівень води (зволоження) першо-

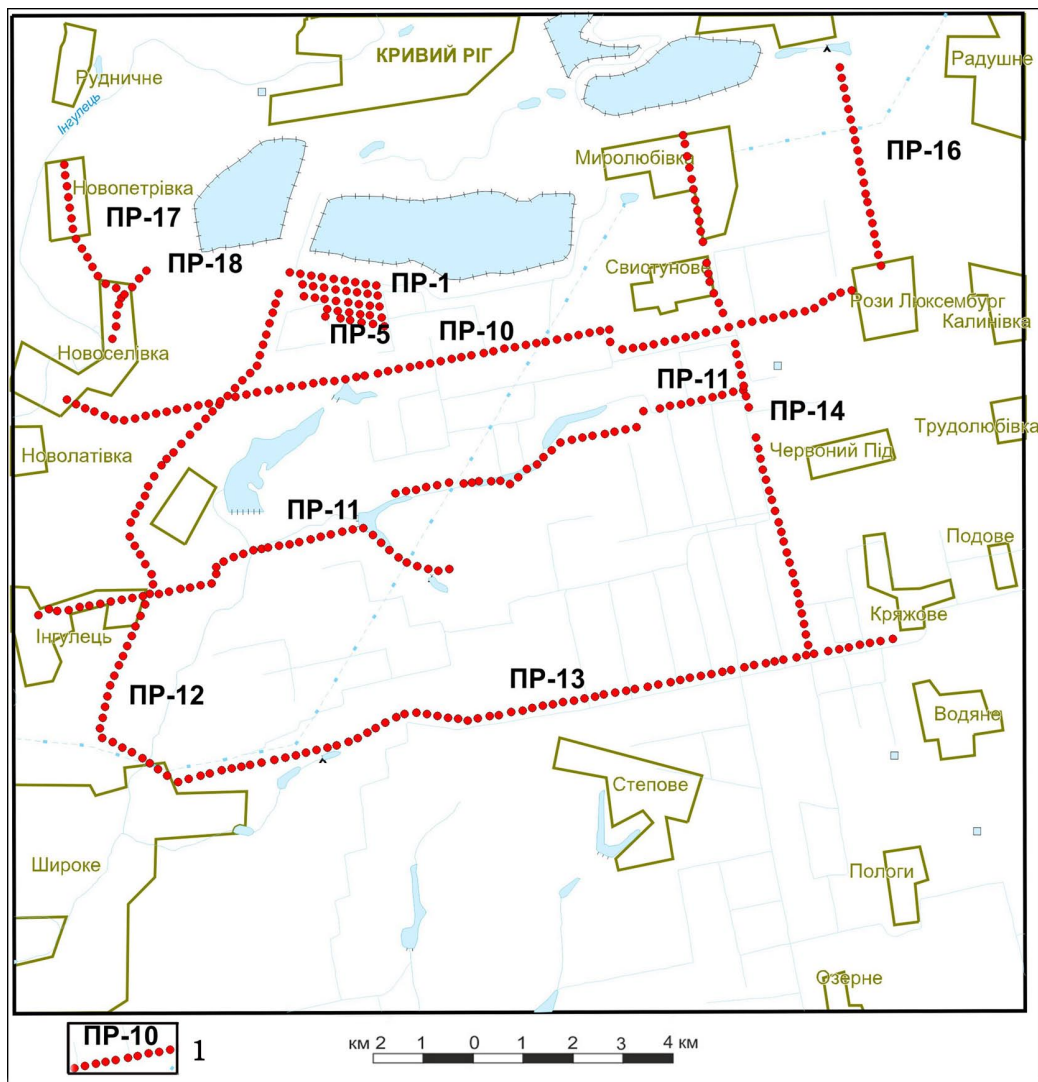


Рис. 1. Схема розміщення пунктів спостережень на профілях ВЕЗ
1 – профілі ВЕЗ та їхні номери

Таблиця. Спостереження за рівнем води у 2008 та 2012 рр.

№ пункту спостережень (сверд., колод.)	Рівень води у 2008 р., м	Рівень води у 2012 р., м	Зміна рівня, м	Зміна уявного опору ($\Delta B=20$ м), Ом·м
2078	4	4,1	-0,1	0
1428	13	11,8	1,2	5
1645	4,7	4,45	0,25	1
661	9,5	9,35	0,15	0,5
2081	1	0,15	0,85	3,5
91	3,2	3,2	0	0
88	3,6	3,3	0,3	1,5
2087	2,45	2,25	0,2	1
2086	3,6	3,3	0,3	1
2130	3,45	1,35	2,1	8
2115	6,57	6,52	0,05	0
639	4,7	4,5	0,2	1
1743	9,3	8,1	1,3	5
2079	5	4,3	0,75	3
20199	2,87	2,62	0,25	1
1423	7	7,3	-0,3	0

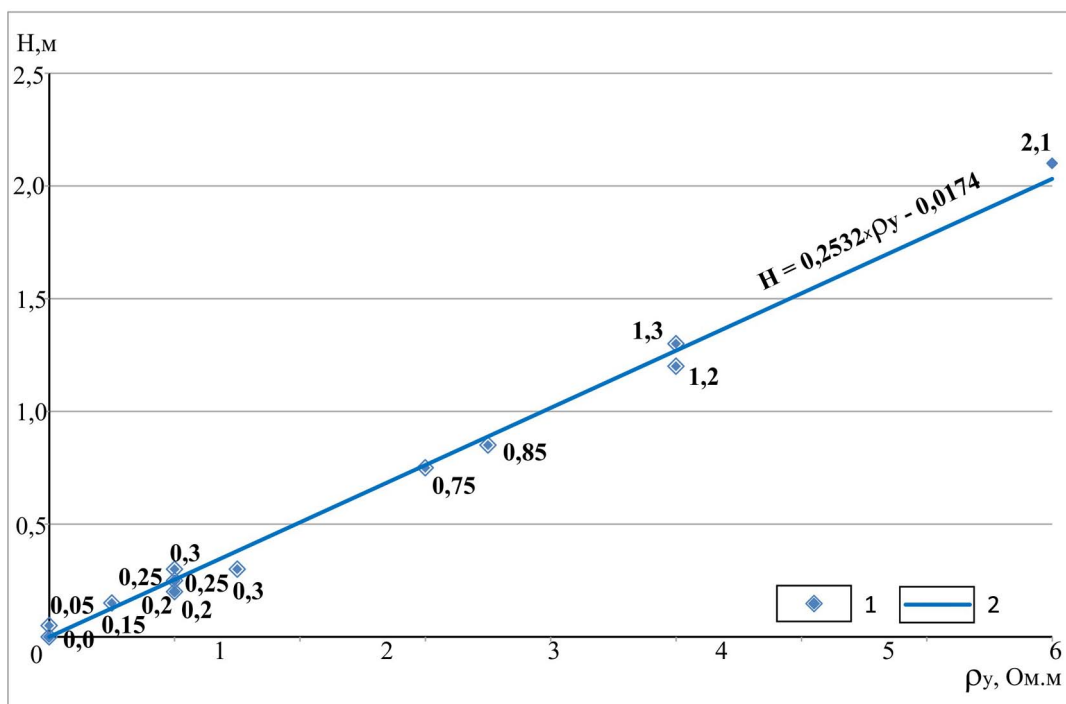


Рис. 2. Графік залежності зміни уявного опору від рівня залягання першого водоносного горизонту з 2008 по 2012 рр.

1 – позначки рівня першого водоносного горизонту у свердловинах і колодцях (у метрах);
2 – лінія тренду

го від поверхні водоносного горизонту збільшується на 0,2532 м. Коефіцієнт $r_{xy} = 0,996$ засвідчує наявність тісного зв'язку між змінними x і y , а $r^2 = 0,992$ означає, що виведене рівняння описує 99 % змін рівня води від поверхні. Критерій Фішера підтверджує рівень значущості та обґрунтованість відхилення нульової значущості з вірогідністю 0,99 ($F_p > F_{крит.}$) і його мож-

на з достовірністю 0,99 використовувати прогнозуючи рівень залягання першого водоносного горизонту на території досліджень, якщо $AB/2=20$ м.

З допомогою отриманого рівняння було розраховано складову "підтоплення" в рівні першого від поверхні водоносного горизонту, яке відбулося за чотири роки з 2008 по 2012 рр. на площі досліджень (рис. 3).

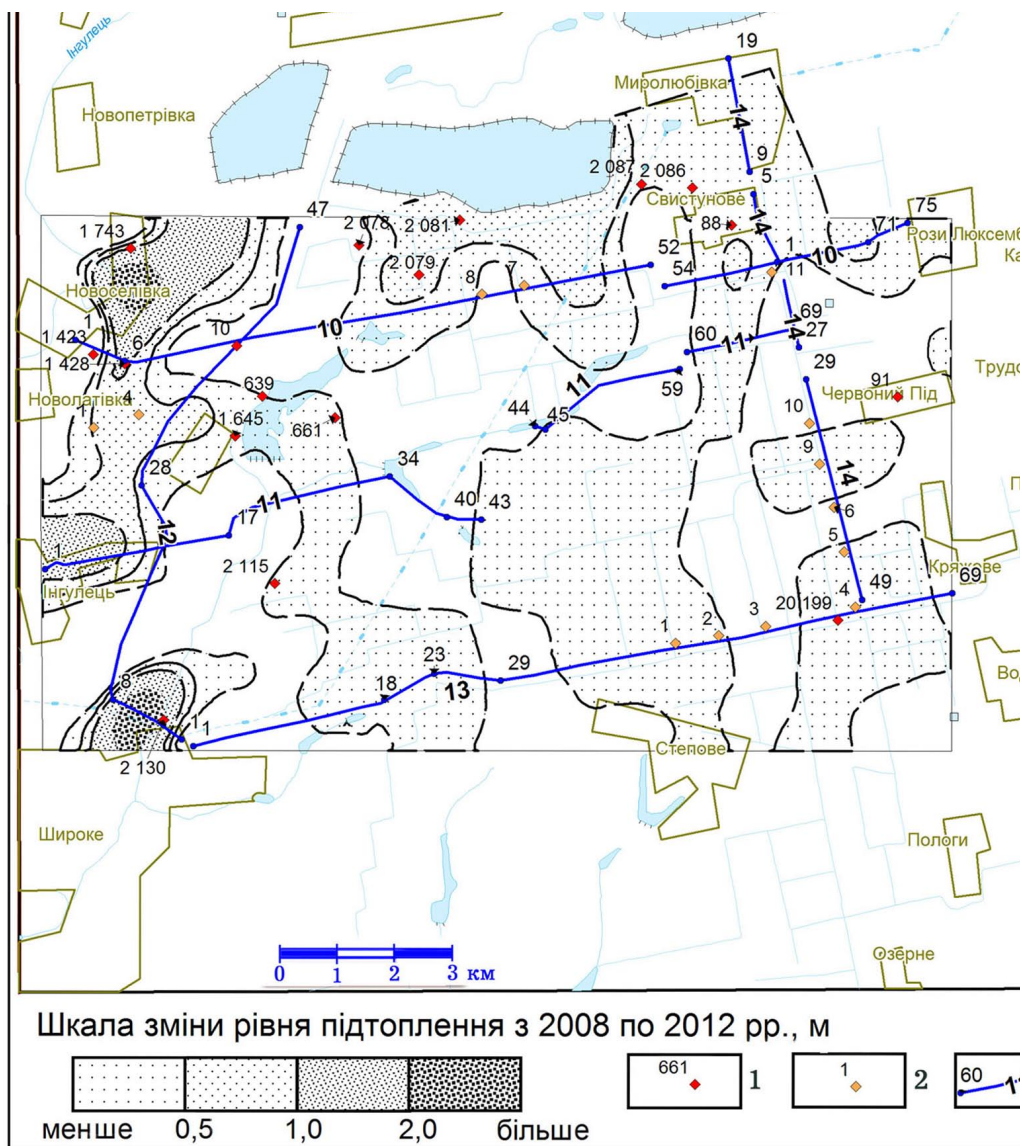


Рис. 3. Прогнозна карта складової "підтоплення" у рівні підземних вод за період 2008–2012 рр.
 1 – пункти, в яких визначено рівні підземних вод (номер свердловини, колодязя); 2 – свердловини інтерпретаційного буріння; 3 – профілі ВЕЗ та їхній номер, номери кінцевих пунктів на профілі

Як показано на рис. 3, на ділянці досліджень коливання рівнів першого водоносного горизонту не рівномірне, а мозаїчне. За рівнем зволоження площу досліджень можливо розбити на 4 таксони. Перший – ділянки без ознак “підтоплення”. Другий – підняття рівня першого водоносного горизонту в межах перших десятків сантиметрів. Третій – від півметра до метра. Четвертий – декілька метрів. За місцезональним третій таксон розміщений на південь від ставка-накопичувача, де відбувається фільтрація води з нього в б. Свистунова. Незважаючи на те, що рівень верхньої частини гребня дамби водосховища становить 151 м, а рівень води в ньому – 147 м, дослідження засвідчують потребу укріплення південної частини дамби, тому що інфільтрація технічних вод відбувається як у межах першого від поверхні водоносного горизонту, так і нижчерозміщених горизонтів, що підтверджують дані спостережень у спеціально обладнаних свердловинах.

Найбільший рівень (швидкість) підняття першого водоносного горизонту з негативними техногенними явищами відмічається в західній частині площі (рис. 3) у вигляді провалів, зсувів, активізації карстових процесів, місцевих підтоплень (сс. Новоселівка, Інгулець та в північній частині селища Широке), де попередніми комплексними геофізичними дослідженнями було виявлено численні порожнини карстового й техногенного походження [5, 6].

Висновки

Проведений комплекс геолого-геофізичних досліджень, а також детальний аналіз попередніх робіт на цій території дав змогу отримати картину сучасної техногенної складової “підтоплення” в рівні залягання першого водоносного горизонту, яке відбувалося за проміжок часу з 2008 по 2012 рр., та визначити, що воно проходило не рівномірною, а мозаїчно. Останнє обумовлене інженерно-геологічними умовами, які характеризуються типом рельєфу, переважними глибинами рівнів підземних вод, напрямками стоку

підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту та основними ознаками й тенденціями неотектонічних рухів, що можуть упливати на зміну режиму підземних вод.

Для переходу від уявного опору до визначення величини рівня зволоження верхньої частини розрізу, потрібно використовувати отримане рівняння лінійної регресії, що дає змогу побудувати карти значень сучасної складової “підтоплення” в рівнях залягання першого водоносного горизонту цієї території.

Результати досліджень інформуватимуть адміністрацію міста та ГЗК про потребу укріпити південну частину дамби Свистунівського водосховища, щоб запобігти підтопленню розміщених на південь від нього територій і виникненню НС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Багрій І. Д.* Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище Кривого Рогу та Дніпродержинська/[І. Д. Багрій, Ю. Г. Білоус, Ю. Г. Вілкул та ін.] – К.: Фенікс, 2005. – 216 с.
2. *Екологічна геологія України*/[Є. Ф. Шнюков, В. М. Шестопалов, Є. О. Яковлев та ін.] – К.: Наукова думка, 1993. – 407 с.
3. *Пігулевський П. Г.* Використання геофізичних методів при вирішенні завдань техногенної безпеки в межах міських агломерацій/[П. Г. Пігулевський, В. К. Свистун, С. О. Слободянюк, О. К. Тяпкин]/Вісник Київського національного університету. Геологія. – Київ: Київський університет, 2001. – Вип. 19. – С. 46–50.
4. *Пігулевський П. И.* К вопросу изучения причин подтопления юго-западной части г. Кривой Рог/[П. И. Пігулевський, В. К. Свистун, А. С. Кирилюк]/Комплексные проблемы техносферной безопасности: Материалы Международной научно-практической конференции. – г. Воронеж, 12 ноября 2015 г. – ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет”, 2015. – Часть IV. – С. 67–72.
5. *Свистун В. К.* Об особенностях формирования техногенно-экологической ситуации в г. Кривой Рог/[В. К. Свистун, В. М. Пахомов, Л. Й. Золотарева, О. А. Калиниченко]/Научный вестник НГАУ. – 2005. – № 7. – С. 48–51.

6. Свистун В. К. Особливості розвитку техногенного підтоплення окремих територій Кривого Рогу/В. К. Свистун, Л. Й. Золотарьова, О. О. Калініченко: Науково-видавничка серія: Геологічне середовище антропогенної екосистеми. Техногенез у поверхневих та підземних водах. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – С. 24–35.

REFERENCES

1. Bahrii I. D., Bilous Yu. H., Vilkul Yu. H. The experience of the anthropogenic impacts comprehensive assessment and mapping of Krivoy Rog and Dniprodzerzhynsk environment. – Kyiv: Feniks, 2005. – 216 p. (In Ukrainian).
2. Shniukov Ye. F., Shestopalov V. M., Yakovlev Ye. O. et al. Ecological geology of Ukraine. – Kyiv: Naukova dumka, 1993. – 407 p. (In Ukrainian).
3. Pigulevskiy P. I., Svystun V. K., Slobodianuk S. O., Tiapkyn O. K. Geophysical methods application for technological safety tasks solving in urban areas//Visnyk of Taras Shevchenko Na-

tional University of Kyiv. Geology. – Kyiv: Kyivskyi universytet, 2001. – Iss. 19. – P. 46–50. (In Ukrainian).

4. Pigulevskiy P. I., Svystun V. K., Kirilyuk A. S. The issue of studying the reasons of flooding of the south-western part of Krivoy Rog. The complex problems of the technosphere safety. Conference paper, 2015. – Part 4. – P. 67–72. (In Russian).

5. Svystun V. K., Pahomov V. M., Zolotarjova L. J., Kalinichenko O. A. The features of the technogenic ecology situation forming in Krivoy Rog//Scientific Bulletin of NGAU, 2005. – № 7. – P. 48–51. (In Russian).

6. Svystun V. K., Zolotarova L. Y., Kalinichenko O. O. The features of the technogenic flooding development of some areas of Krivoy Rog. Scientifically Publishing Series: The geological medium of the anthropogenic system. Technogenesis of the surface and groundwater. – Kryvyi Rih: Mineral, 2006. – P. 24–35. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 24.04.16.

А. С. Кирилук, *Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины*, 20kiril20@gmail.com,

П. И. Пигулевский, *Институт геофизики НАН Украины*, pigulev@ua.fm,

В. К. Свистун, *Днепропетровская геофизическая экспедиция “Днепрогеофизика”*, dpge@ukr.net

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЮЖНОГО КРИВБАССА

Рассмотрена методика расчетов возможного влияния техногенных сооружений – шламо- и водохранилищ на гидрогеологический режим территории южной части Кривбасса. Для определения особенностей колебаний уровня первого от поверхности водоносного горизонта, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций природно-техногенного характера, предложен алгоритм оценки значений составляющей современного уровня “подтопления” по данным геолого-геофизических наблюдений.

Ключевые слова: Кривбасс, подземные воды, подтопление, геолого-геофизические исследования, чрезвычайная ситуация, уравнение регрессии.

A. S. Kyryliuk, *Institute for Nature Management Problems and Ecology of NAS of Ukraine*, 20kiril20@gmail.com,

P. I. Pigulevskiy, *Institute of Geophysics of NAS of Ukraine*, pigulev@ua.fm,

V. K. Svystun, *Dnepropetrovsk geophysical expedition “Dneprogeofizika”*, dpge@ukr.net

USING OF GEO-ELECTRICAL METHODS AT THE STUDY OF MODERN FLOODING AT THE SOUTH KRYVBAS

The article is devoted to actual issues of the development of technologies and methods of identifying and mapping underground cavities by geophysical methods, prediction of regions of failure-shift phenomena of anthropogenic origin, areas of flooding, implementation of predictive assessment of their further development.

To study the degree of flooding of the southwestern part of Kryvbas were used geoelectric methods in modifications vertical electrical sounding and natural field involving biolocation research and large-scale maps of the gravitational field. It was established that the zone of increased expressive horizontal gradients, which coincide with the natural deformation zones wide field or abrupt changes of apparent resistivity are regions of increased permeability of water. Aquifer in Quaternary sediments has planar spread with different levels of standing water. The separate areas with a natural (along rivers and large beams) and anthropogenic origin (dumps, quarries, tailing) are allocated. The level of capillary moisture is placed above the ground water level and, by our opinion, characterizes the depth of surface evaporation. The article describes the method of calculation of the possible impact of technogenic facilities – sludge and reservoirs on the hydrogeological regime of the south-western part of Kryvbas.

To identify directions of possible flooding (pollution), in case of emergency situations of natural and man-made disasters, an algorithm for assessing the validity values of the modern part of the level of flooding according to geological and geophysical observations is offered.

Received information from results of electrometric and biolocation research is very important for solving agricultural problems – humidification control or depth of evaporation, as well as for administrative decision-making at various levels in order to minimize the effects of the activity of man-made objects (sludge storage tanks, reservoirs).

Keywords: *Kryvbas, groundwater, flooding, geological and geophysical studies, an emergency situation, the regression equation.*