

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ШЕРСТЮК ЄВГЕНІЯ АНАТОЛІЇВНА


УДК 622.841: 556.3.01: 519.6

**ГЕОТЕХНІЧНА СТІЙКІСТЬ ПОРОДНИХ МАСИВІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ
ТЕХНОГЕННОГО ВОДООБМІНУ ГІРНИЧОРУДНОГО КОМПЛЕКСУ**

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

05.15.09 – Геотехнічна та гірничча механіка

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


_____ Є.А. Шерстюк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник – Тимощук Василь Іполитович, к.т.н., доцент

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Шерстюк Є.А. Геотехнічна стійкість породних масивів в зоні впливу техногенного водообміну гірничорудного комплексу. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Дисертація спрямована на вирішення актуальної науково-практичної задачі, яка полягає у встановленні закономірностей формування геотехнічної стійкості породних масивів, що знаходяться в зоні впливу техногенного водообміну об'єктів гірничорудної промисловості, для розробки ефективних технічних рішень щодо їх захисту.

В роботі на основі вперше встановлених закономірностей техногенного водообміну та залежності величин і розподілу кар'єрних водопритоків від геолого-структурних умов родовища обґрунтовані параметри геотехнічної стійкості природно-техногенних породних масивів та їх змін під впливом гідравлічної складової при відпрацюванні рудних покладів; це дозволило обґрунтувати заходи щодо гідрозахисту бортів кар'єру та визначити комплекс технічних рішень для забезпечення геотехнічної стійкості масивів порід в навантажених породними відвалами бортах кар'єру та в умовах входження робочого борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок.

За результатами аналізу геолого-гідрогеологічних та гірничотехнічних умов родовища і особливостей гідродинамічного режиму порушеної гірничими роботами території розкрита роль техногенного водообміну у формуванні геотехнічної стійкості породних масивів та її змін під впливом відпрацювання рудних покладів.

Розвиток деформаційних процесів різного ступеня інтенсивності на різ-

них ділянках у бортах кар'єру простежується майже протягом всього часу відпрацювання Інгулецького залізорудного родовища. Встановлено, що в більшості випадків деформаційні процеси, переважно зсувного характеру, в межах бортів кар'єру пов'язані з водопроявами в покриваючій товщі осадових відкладень. До особливостей таких деформаційних процесів відноситься формування значних водопритоків – до 25...50 м³/год, які супроводжують розвиток зсувних деформацій і вказують на існування в межах зсувних ділянок значних статичних запасів води, а також свідчити про створення умов для їх концентрованого виходу.

Обґрунтовані чисельні геофільтраційні моделі території розташування об'єктів гірничого виробництва. Викладена методика моделювання нестационарної планово-просторової фільтрації в техногенно навантаженому масиві гірських порід. Виконана верифікація моделей за даними спостережень.

Встановлена залежність величин кар'єрних водопритоків та їх просторового розподілу від геолого-структурних умов родовища, які визначаються положенням водопроникних і водотривких шарів в межах бортів кар'єру і створюють передумови для формування ділянок локально підпірних підземних вод в порушених гірничими роботами породних масивах.

Отримана залежність кар'єрних водопритоків від геоструктурних особливостей родовища дозволяє з високим рівнем достовірності виконувати картування ділянок з аномальними величинами водопритоків та пов'язаних з ними порушень гідрогеомеханічного стану породних масивів.

За результатами інтерпретації даних польових геофізичних досліджень у складі електротомографії (ЕТ) та аудіомагнітотелуричних зондувань (АМТЗ) підтверджено формування техногенного водоносного горизонту в основі породного відвалу № 3, вплив якого на геомеханічну стійкість борту кар'єру встановлено за результатами вирішення ретроспективних геофільтраційних і геомеханічних задач.

За даними виконаних досліджень встановлено, що в умовах входження робочого борту кар'єру в зону зрушень шахти «Центральна» суттєві зміни у ве-

личиnah водопритоків і положенні рівнів підземних вод, які зафіксовані спостереженнями, пов'язані з підвищеною гідравлічною проникністю ділянки відпрацьованих підземних гірничих виробок 1-го підповерху горизонту $-260,0$ шахти «Центральна», яка характеризується еквівалентною величиною коефіцієнта фільтрації на рівні $60,0$ м/добу.

Встановлена за даними прогнозного моделювання динаміка кар'єрних водопритоків при розкритті бортом кар'єру зони зрушень від підземних гірничих виробок характеризується зростанням водопритоків на величину до $15,0...55,0\%$ та їх наступним досить швидким зниженням, що визначається ємнісними запасами підземних вод та високою гідравлічною проникністю порід в межах зони провалів і зрушень, і сприяє формуванню підвищених гідравлічних напорів в інтервалі робочих уступів борту кар'єру.

Вплив гідродинамічної складової на геотехнічну стійкість породних масивів, встановлений за даними моделювання їх гідрогеомеханічного стану на ділянці сполучення бортів кар'єру з породними відвалами та в умовах розкриття робочим бортом кар'єру зони зрушень, характеризується зниженням запасу стійкості на $6,8...17,0\%$.

Гідрогеомеханічна стійкість навантажених відвальним масивом бортів кар'єру на рівні не нижче нормативної забезпечується за умови реалізації дренажних заходів при розташуванні дренажно-утримуючих призм у межах контурів горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ та розвантаженні борту кар'єру в межах 100-метрової смуги ділянки породного відвалу.

Комплексний підхід, застосований при дослідженні порушеного гідродинамічного режиму, використаний при з'ясуванні механізму розвитку зсувних деформацій на території с. Новоселівка, що знаходиться в зоні впливу гідротехнічних споруд гірничорудних підприємств. Створена чисельна геофільтраційна ретроспективна модель дозволила довести визначальний вплив втрат мінералізованих вод із хвостосховищ на гідродинамічний режим прилеглих територій та розвиток негативних деформаційних процесів внаслідок вилуговування карбонатних порід.

Встановлена тенденція до зростання низхідного перетікання фільтраційних вод крізь розділяючий шар четвертинних слабопроникних відкладень в неогеновий горизонт, яка спостерігається в умовах послідовного нарощування хвостосховища. Це сприяє формуванню техногенного режиму неогенового водоносного горизонту, що призводить до зростання рівнів підземних вод на прилеглих до гідроспруд територіях та є причиною виникнення зсувних деформацій в межах ділянок природного дренажування.

Встановлено, що при збереженні в цілому стійкого стану схилових ділянок ґрунтових масивів величини зсувних деформацій і деформацій осідань, а також їх інтенсивність в розглянутих умовах характеризуються експоненціальною залежністю від співвідношення міцності порушених порід та їх деформаційних властивостей.

Виконано прогностні чисельні розрахунки з визначення величин водопритоків у кар'єр в умовах перспективного розвитку гірничих робіт, що дозволило обґрунтувати параметри протифільтраційної завіси на ділянці східного борту кар'єру.

Показано, що в умовах проектного положення контуру східного борту кар'єру Інгулецького ГЗК приріст прогностних водопритоків відбувається в межах всього борту, складаючи відповідно на ділянках їх концентрації 839,8 м³/добу (м.о. 30...46) і 603,09 м³/добу (м.о. 58...74) із формуванням зон осушення на ділянках припіднятого залягання палеогенових глин.

В цих умовах зниження кар'єрних водопритоків досягається при спорудженні на ділянці м.о. 22...74 нової протифільтраційної завіси з гідравлічною проникністю не вище 0,001 м/добу, шириною до 0,7 м із заглибленням в палеогенові глини та закладенням її верху не вище ординарної відмітки рівня води в р. Інгулець.

Підходи комплексного дослідження реалізовані при рекультивациі шламонакопичувача ДП «Екоантилід» в балці Ясинова, смт. Карнаухівка Дніпропетровської обл. За результатами прогностних розрахунків в нестационарному режимі фільтрації встановлено, що виключення поверхневого стоку з гідрорежи-

му шламонакопичувача вже протягом першого року забезпечує зниження підпертих рівнів на величину від 0,5...2,5 м на прилеглий території до 7,0...10,0 м під накопичувачем і контуром греблі.

Показано, що відновлення гідродинамічного режиму ґрунтового водоносного горизонту до його природного стану за умови рекультивації шламонакопичувача та реалізації водорегулювальних заходів відбувається протягом 10 років.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені при виконанні проекту «Коригування робочого проекту «Рекультивація шламонакопичувача у балці Ясинова ДП «Екоантилід», виконаного ТОВ ПВП «Дніпроводпром» (акт від 15.11.2018 р.); впроваджені на ПРАТ «ІНГЗК» у вигляді рекомендацій щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру та забезпечення його гідрогеомеханічної стійкості на ділянці сполучення з відвалом № 3 та рекомендацій щодо створення системи комплексного гідрогеологічного, геодезичного та геофізичного моніторингу для розробки заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій в межах порушеної гірничими роботами території (довідка від 07.07.2021 р.).

Ключові слова: залізорудний кар'єр, техногенний водообмін, гідродинамічний режим, чисельне моделювання, кар'єрні водопритоки, зона зрушень, геотехнічна стійкість

ABSTRACT

Sherstiuk Y.A. Geotechnical stability of rock massifs in the influence zone of technogenic groundwater mode of the mining complex. – Qualifying scientific work as a manuscript.

The thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.15.09 – “Geotechnical and Mining Mechanics”. – Dnipro University of Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The thesis is aimed at solving the urgent scientific and practical problem, which consists in determining the patterns of geotechnical stability formation of rock masses, located in the zone of technogenic water exchange and influenced by mining sector facilities, in order to develop effective technical solutions for their protection.

Based on the previously determined patterns on technogenic water exchange, dependences of values and distribution of quarry water inflows on geological and structural conditions of the deposit, the parameters of geotechnical stability of natural-technogenic rock masses and their changes under the influence of the hydraulic component during the ore deposits mining have been substantiated in the work; this made it possible to substantiate measures for the hydroprotection of quarry sides and to determine a set of technical solutions for ensuring the geotechnical rock mass stability in quarry sides loaded with rock heaps and in the conditions of entering the quarry working side into the zone of displacements from underground mine workings.

According to the analysis results of geological-hydrogeological and mining-technical conditions of the deposit and peculiarities of the hydrodynamic regime of the area disturbed by mining operations, the role of the technogenic water exchange in the formation of a rock mass geotechnical stability and its change under the influence of the ore deposits mining, has been revealed.

The deformation processes of varying degrees of intensity are developed in different areas of the quarry sides almost throughout the entire period of mining the

Inhulets iron ore deposit. It has been determined that in most cases, deformation processes, mainly of landslide nature and occurring within the quarry sides, are conditioned by water inflows into the covering sediment stratum. Among the peculiarities of such deformation processes is the formation of significant water inflows – up to 25...50 m³/h, which accompany the development of landslide deformations and indicate the presence of significant static water reserves within the landslide areas, and also indicate the creation of conditions for their concentrated seepage.

Numerical geofiltration models of the territory where mining enterprises are located have been substantiated. The method for modeling the non-stationary plan-spatial filtration in technogenically loaded rock mass is presented. Verification of models based on observations has been performed.

The dependence has been set of the values of quarry water inflows and their spatial distribution on the geological and structural conditions of the field. The latter are determined by the position of the permeable and water-resistant layers within the quarry sides and create preliminary conditions for locally formed sections with groundwater backing in rock masses disturbed by mining operations.

The obtained dependence of quarry water inflows on the geostructural characteristic of the field allows mapping the areas with anomalous values of water inflows and related violations of the hydrogeomechanical rock mass state with a high level of reliability.

Based on the results of interpretation of field geophysical survey data, including electron tomography (ET) and audio-magnetotelluric (AMT) sounding, the formation of a technogenic aquifer in the base of rock heap No.3 has been confirmed, and its influence on the geomechanical quarry side stability has been revealed by the results of solving retrospective geofiltration and geomechanical problems.

According to the research performed, it has been determined during surveys that in the conditions of entering the quarry working side into the zone of displacements of the Tsentralna mine, the values of water inflows and the elevation of groundwater levels has been changed significantly due to the increased hydraulic

permeability of the site of completed underground mine workings at the 1st sublevel of the -260.0 level at the Tsentralna mine, which is characterized by an equivalent hydraulic conductivity value of about 60.0 m/day.

The dynamics of quarry water inflows, determined by the predictive modeling data, when the quarry side uncovers the displacement zones of underground mine workings, is characterized by an increase in water inflows by up to 15.0... 55.0% and their subsequent rather rapid decrease due to capacious groundwater reserves and high hydraulic permeability of rocks within the zone of dips and landslides, which leads to the formation of increased hydraulic heads within the working benches of the quarry side.

The influence of the hydrodynamic component on the geotechnical rock mass stability, determined from the data of modeling their hydrogeomechanical state in the area of junction of the quarry sides with rock heaps and in the conditions of uncovering collapse zone of underground mining by the quarry working side, is characterized by a decrease in safety factor by 6.8...17.0%.

The hydrogeomechanical stability of the quarry sides, loaded with the dump mass at a level not lower than the standard safety factor, is ensured by implementing the drainage measures, that is, when the drainage-holding prisms are located within the contours of the levels $\pm 0.0/-15.0$; $-15.0/-30.0$, as well as unloading of a quarry side within a 100-meter strip of the rock heap area.

The applied integrated approach to the study of the disturbed hydrodynamic regime is used to reveal the mechanism of landslide deformations that occur in the village Novoselivka, located in the area influenced by hydraulic structures of mining enterprises. The created numerical geofiltration retrospective model made it possible to prove the decisive influence of mineralized water losses from tailing dumps on the hydrodynamic mode of adjacent areas, as well as the development of negative deformation processes as a result of carbonate rock leaching.

There is a tendency to an increase in the descending filtration water crossflow through the separating layer of Quaternary low-permeable sediments into the Neogene aquifer, which is observed in the conditions of successive growth of tailing

dumps. This contributes to the technogenic regime formation of the Neogene aquifer, which leads to an increase in the groundwater levels in the areas adjacent to the hydraulic structures and is the cause of landslide deformations within the areas of natural drainage.

It has been revealed that, while maintaining a generally stable state of slope sections of soil masses, the values of landslide deformations and subsidence deformations, as well as their intensity in the studied conditions, are characterized by an exponential dependence on the ratio of the strength of disturbed rocks and their deformation properties.

After performing predictive numerical calculations, the values of water inflows into the quarry in the conditions of perspective development of mining operations have been found, which makes it possible to substantiate the parameters of the groundwater cutoff in the area of the quarry eastern side.

It is indicated that in the conditions of the design position of the eastern side contour of the PJSC "Inhuletsky GZK" quarry, the increase in predicted water inflows occurs within the entire side, amounting to 839.8 m³/day (g.a. 30... 46) and 603.09 m³/day (g.a. 58...74), respectively, with the formation of drainage zones in areas of elevated occurrence of Paleogene clays.

Under these conditions, the reduction of quarry water inflows is achieved during the construction on the site of g.a. 22 ... 74 of a new groundwater cutoff with hydraulic permeability not higher than 0.001 m/day, width up to 0.7 m with a deepening into Paleogene clays and embedding of its top not higher than the ordinary water level mark in the Inhulets River.

The complex research approaches are implemented during the reclamation of sludge reservoir at KP Ekoantylid in Yasinov Balka, urban-type settlement Karnaukhivka, Dnipropetrovsk region. According to the results of predictive calculations in a non-stationary filtration regime, it has been revealed that the exclusion of surface runoff from the hydraulic regime of sludge reservoir already within the first year provides a reduction of backing levels from 0.5...2.5 m in the adjacent area to 7.0...10.0 m under the sludge reservoir and the dam contour.

It is proved that the hydrodynamic regime restoration of the soil aquifer to its natural state, provided that the sludge reservoir is reclaimed and water control measures are taken, takes place within 10 years.

The results of dissertation research are implemented during the project “Adjustment of the working project “Reclamation of sludge reservoir in the Yasinov Balka, KP Ekoantylid”, performed by TOV PVP Dniprovodprom (act of 15.11.2018); in addition, they are implemented at PJSC “INGZK” in the form of recommendations for hydroprotection of the north-eastern quarry side and ensuring its hydrogeomechanical stability in the area of junction with the rock heap No.3, as well as recommendations for creating a system of comprehensive hydrogeological, geodetic and geophysical monitoring for the development of emergency prevention measures within the territory disturbed by mining operations (reference dated 07.07.2021).

Keywords: iron ore quarry, technogenic water exchange, hydrodynamic regime, computational modeling, quarry water inflows, zone of displacements, collapse zone of underground mining, geotechnical stability

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних працях

Статті у періодичних фахових виданнях України:

1. Шерстюк Е.А. Идентификация трехмерной геофильтрационной модели техногенно нагруженной территории центральной части Криворожского бассейна / Д.В. Рудаков, В.И. Тимощук, Т.И. Перкова, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2011, № 5 – С. 21-25.

2. Шерстюк Е.А. Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород / В.И. Тимощук, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2012, № 4 – С. 30-36. (**Scopus**)

3. Шерстюк Є.А. Гідродинамічне обґрунтування водорегулювальних заходів на ділянці шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області / В.І. Тимощук, В.В. Тішков, Є.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2013. – № 3. – С. 5-10. (**Scopus**)

4. Шерстюк Є.А. Закономірності формування кар'єрних водоприпливів з алювіального водоносного горизонту на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимощук, О.А. Савюк, Є.А. Шерстюк // Збірник наукових праць НГУ. – 2018. – № 54. – С. 128-140.

5. Шерстюк Є.А. Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних родовищ / Шустов О.О., Петльований М.В., Зубко С.А., Шерстюк Є.А. // Збірник наукових праць Національного гірничого університету, 2019, (58), 154-165. doi:10.33271/crpnmu/58.154

6. Шерстюк Є.А. Комплексна оцінка гідрогеомеханічного стану східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в умовах перспективного розвитку гірничих робіт / В.І. Тимощук, Є.А. Шерстюк, А.Л. Лозовий // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка»,

2020. – № 62. – С. 77-87. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.077>

Статті у закордонних виданнях:

7. Sherstuk E. The role of natural and technogenic components in failure of geomechanical stability of the territories which are in an influence zone of mining objects / V. Timoshuk, J. Demchenko, E. Sherstuk // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyu* (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, p. 189-192. (**Scopus**)

8. Sherstuk Y. Three-dimensional model creation of ground water seepage in mining zones (Kryvyi Rih iron ore basin) / Y. Sherstuk, T. Perkova & U. Demchenko // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyu* (eds) © 2011 Taylor & Francis Group, London, p. 181-185.

9. Sherstuk Ye. Patterns of landslide processes development in conditions of man-made water exchange of mining complex / Ye. Sherstuk, U. Demchenko & Yu. Cherednichenko // *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining - Bondarenko, Kovalevs'ka & Ganushevych* (eds). 2014. Taylor & Francis Group, London, 41-45 pp.

Статті та тези доповідей:

10. Шерстюк Є.А. Вплив об'єктів гірничого виробництва на гідрогеомеханічний стан прилеглих територій в умовах Криворізького басейну / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сб. научн. тр. II Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2008. – С. 234-237.

11. Шерстюк Е.А. Параметризация численных моделей неустойчивых грунтовых массивов на основе изучения из физико-механических характеристик / Е.А. Шерстюк, Н.И. Деревягина // Сб. научн. тр. Международного форума-конкурса молодых ученых «Проблемы недропользования». – Санкт-Петербург, 2010. – С. 179-181.

12. Шерстюк Є.А. Визначення ролі техногенних складових в порушенні геомеханічної стійкості територій в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сб. научн.

тр. III Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2009. – С. 437-440.

13. Шерстюк Е.А. Разработка и идентификация пространственной геофильтрационной модели техногенно нагруженной территории центральной части Кривбасса / Перкова Т.И., Шерстюк Е.А. // География, геоэкология, геология: опыт научных исследований: Материалы VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под. ред. проф. Л.И. Зеленской. – Днепропетровск: ИМА-прес, 2011. – Вып. 8. – С. 144-145.

14. Шерстюк Є.А. Формування гідродинамічного режиму в зоні впливу відвалів гірських порід та хвостосховищ / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, Є.А. Шерстюк // Зб. наук. праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки». – Ялта, 24-28 вересня 2012 р. – С. 329-334.

15. Шерстюк Е.А. Автоматизированная система прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций на оползневых участках / И.А. Садовенко, Л.Я. Эйдельштейн, В.И. Тимошук, Е.А. Шерстюк // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 трав. 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – С. 105-112.

16. Sherstiuk E. Parameters of Hydrogeomechanical Sustainability of Territories in the Area of Influence of Mining Facilities / E. Sherstiuk // Widening Our Horizons. The 11th International Forum for Students and Young Researchers. April 14 – 15, 2016, p. 104.

17. Шерстюк Є.А. Моделювання геофільтрації в основі хвостосховищ та відвалів гірських порід / В.І. Тимошук, Є.А. Шерстюк, Т.В. Морозова // «Гідрогеологія: наука, освіта, практика». Матеріали III Наукової конференції з міжнародною участю. м. Харків, 2-4 листопада 2016 р. – С. 175-180.

18. Шерстюк Є.А. Дослідження формування кар'єрних водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимошук, Є.А. Шерстюк, О.А. Савюк // Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць. – Х.: Стиль-Издат, 2018. – С. 141-146.

19. Sherstiuk Y. Analysis of patterns of the open-pit mine water influx formation in the conditions of the Inhulets iron ore deposit using a three-dimensional geofiltration model / V. Tymoshchuk, Y. Sherstiuk, T. Morozova // E3S Web of Conferences. Ukrainian School of Mining Engineering. – 2018. – Vol. 60. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000030>. (**Scopus**).

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	18
1 ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА	24
1.1 Фактори й умови розвитку гідрогеомеханічних процесів в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва	25
1.2 Закономірності формування гідрогеомеханічного стану породних масивів під впливом техногенного водообміну	38
1.3 Стан теоретичних та практичних розробок з прогнозування та управління геотехнічною стійкістю породних масивів	44
1.4 Обґрунтування мети, задач та методів досліджень	48
1.5 Висновки	49
2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННОГО ВОДООБМІНУ НА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИЙ СТАН ПОРОДНИХ МАСИВІВ	52
2.1 Обґрунтування чисельних геофільтраційних моделей території розташування об'єктів гірничого виробництва	52
2.1.1 Математичне забезпечення геофільтраційних моделей	52
2.1.2 Гідродинамічна схематизація порушеної гірничими роботами території залізородного родовища	55
2.2 Закономірності формування кар'єрних водопритоків на ділянці навантаженого породним відвалом борту кар'єру	73
2.3 Дослідження динаміки кар'єрних водопритоків в умовах входження борту кар'єру в зону зрушень від гірничих виробок	81
2.4 Висновки	112
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕОТЕХНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД	114
3.1 Процедура розрахунку гідрогеомеханічного стану породних масивів	114

3.2 Розробка і параметризація об'єктних геомеханічних моделей	
техногенно навантажених породних масивів	119
3.2.1 Ділянка навантаженого породним відвалом борту кар'єру	119
3.2.2 Ділянка входження борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок	126
3.3 Прогнозування геотехнічної стійкості природно-техногенних масивів в умовах порушеного водообміну	128
3.4 Оцінка геомеханічного стану порушених територій в зоні впливу об'єктів гірничої промисловості	145
3.5 Висновки	150
4 УПРАВЛІННЯ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИМ СТАНОМ ПОРОДНИХ МАСИВІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ ПОРУШЕНОГО ВОДООБМІНУ	152
4.1 Обґрунтування протизсувних заходів в умовах відпрацювання залізородних покладів	152
4.2 Заходи щодо гідрозахисту робочого борту кар'єру в умовах перспективного розвитку гірничих робіт	159
4.3 Параметри протифільтраційної завіси на ділянці східного борту залізородного кар'єру	171
4.4 Заходи щодо стабілізації геотехнічного стану породних масивів в зоні впливу техногенного водообміну	182
4.4.1 Заходи щодо стабілізації деформаційних процесів на прилеглих до гірничорудних підприємств територіях	182
4.4.2 Водорегулювальні заходи для стабілізації гідродинамічного режиму в зоні впливу шламонакопичувача	186
4.5 Висновки	202
ВИСНОВКИ	204
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	206
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	220
Додаток Б. Довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи ..	224

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток гірничодобувної та переробної галузей супроводжується залученням до сфери несприятливого техногенного впливу значних територій, що прилягають до об'єктів гірничого виробництва. Техногенний вплив в першу чергу проявляється в порушенні існуючого стану геологічного середовища і таких його складових, як геомеханічний стан породних масивів, гідродинамічний і гідрогеохімічний режими підземних вод.

Рівень впливу на геологічне середовище в значній мірі визначається характером діючих факторів, серед яких основне місце, крім відкритих і підземних гірничих робіт, займають відвали гірських порід, сховища хімічно шкідливих відходів, ставки-накопичувачі. Останні здійснюють як безпосередній вплив на породні масиви в межах ділянок їх розташування, так і опосередкований, в результаті деформацій гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів підземних вод в межах прилеглих територій.

Криворізький залізорудний район, загальна площа якого становить близько 300 км², відноситься до регіонів з критичним станом довкілля, де екологічні проблеми накопичувались протягом декількох десятиліть внаслідок використання не завжди досконалих технологій ведення гірничодобувних робіт на великій площі і накопичення на поверхні значних об'ємів твердих і рідких відходів видобутку і збагачення залізних руд.

До процесів, розвиток яких відбувається під впливом гірничих робіт, складування розкритих порід і відходів рудозбагачення, відносяться суфозійні і зсувні процеси, процеси техногенного карстоутворення та інші, пов'язані з порушеним водообміном гірничорудних підприємств.

В зв'язку з цим **актуальним науково-технічним завданням** є виокремлення головних чинників та встановлення закономірностей розвитку гідродинамічних та геомеханічних процесів у природних та техногенних масивах в процесі експлуатації залізорудних родовищ для прогнозування та запобігання їх подальшому поширенню, а також обґрунтування геотехнічної стійкості по-

родних масивів в зоні впливу гірничодобувних підприємств і розробки ефективних технічних рішень щодо їх захисту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Напрямок дисертаційних досліджень відповідає «Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року № 3268-VI).

Дисертаційна робота виконана в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка». Тематика роботи пов'язана з дослідженнями, проведеними на кафедрі гідрогеології та інженерної геології НТУ «Дніпровська політехніка», в рамках держбюджетних та господарських договірних робіт, в яких авторка брала участь як відповідальний виконавець: ГП-502 «Розробка прогресивних технологій повноцінного вилучення енергетичного вугілля з акумуляцією пустих порід у підземному просторі» (№ ДР 0120U101099, 2020); «Гідродинамічне обґрунтування водорегулювальних заходів на ділянці шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області» (№040823, 2009); «Розробка міграційної моделі та прогноз стану підземної гідросфери при будівництві відвалу № 5 у складі розділу ОВНС проекту «Відробка Інгулецького родовища кар'єром ПРАТ «ІНГЗК» (№ 4402/14147/040835, 2016); «Дослідження закономірностей формування кар'єрних водопритоків та прогнозна оцінка їх величин у зв'язку з розробкою технічних рішень щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єра ПРАТ «ІНГЗК» (м.о. 56...98)» (№ 040836-17, 2017); «Обґрунтування системи моніторингу гідрогеомеханічного стану порушеної гірничими роботами території ПРАТ «ІНГЗК» на основі аналізу сучасних гідродинамічних, геомеханічних і геофізичних полів для розробки заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій при входженні північного борту кар'єру в зону зрушень підземних гірничих виробок шахти «Центральна» (№ 040839-19, 2019).

Ідея роботи полягає у використанні встановлених закономірностей формування гранично напруженого стану породних масивів під впливом техногенного водообміну гірничорудних підприємств для обґрунтування заходів щодо стабілізації геомеханічно порушених масивів.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягає у визначенні параметрів геотехнічної стійкості породних масивів, що знаходяться в зоні впливу техногенного водообміну підприємств гірничорудного комплексу, і обґрунтуванні на цій основі ефективних заходів щодо їх інженерного захисту.

Для досягнення поставленої в роботі мети вирішені наступні **задачі**:

1. Виконати аналіз геолого-гідрологічних та гірничотехнічних умов формування гідродинамічних і геомеханічних процесів в зоні впливу об'єктів гірничої промисловості.

2. Розробити і параметризувати чисельні геофільтраційні і геомеханічні моделі з урахуванням особливостей техногенного водообміну гірничорудного комплексу.

3. Встановити закономірності розвитку зсувних процесів в природно-техногенних породних масивах під впливом порушеного водообміну об'єктів гірничого виробництва.

4. Обґрунтувати технологічні параметри та рекомендації щодо управління гідрогеомеханічним станом масивів в зоні техногенного впливу гірничорудних підприємств.

Об'єкт дослідження – гідрогеомеханічні процеси, що визначають стійкість породних масивів в зоні впливу техногенного водообміну гірничорудного комплексу.

Предмет дослідження – параметри гідрогеомеханічної стійкості породних масивів в умовах техногенно порушеного гідродинамічного режиму.

Методи дослідження. Вирішення поставлених в дисертаційній роботі задач досягнуто шляхом використання методів теоретичного аналізу факторів і умов формування складових техногенного водообміну, аналізу даних геофізичних досліджень шаруватих породних масивів у складі електротомографії і аудіомагнітотелуричних зондувань, математичного моделювання гідродинамічних і геомеханічних процесів із застосуванням чисельних планово-просторових і профільних геофільтраційних і геомеханічних моделей.

Наукові положення, які захищаються в дисертації.

1. Формування гідродинамічного режиму в зоні впливу відкритих гірничих робіт визначається просторовим положенням контурів дренавання гіпсометрично понижених ділянок водотривких шарів, що при величині зниження їх покрівлі на 6,0...15,0 м обумовлює розвиток в межах цих ділянок локально напірного стану підземних вод та спричинює порушення геомеханічної стійкості породних масивів, яке супроводжується зростанням кар'єрних водопритоків на величину до 25...50 м³/год; це дозволяє прогнозувати зони, потенційно небезпечні за порушеннями геотехнічної стійкості та аномальними водопроявами.

2. Геотехнічна стійкість породних масивів при входженні відкритими гірничими роботами в зону зрушень підземних гірничих виробок визначається характером гідравлічної депресії при незгідному положенні контурів кар'єру і зони зрушень в умовах послідовного посування робочого борту кар'єру і залежить від градієнту напору і потужності розділяючої товщі на границі зони зрушень, при цьому зниження запасу стійкості в період входження робочого борту в порушену зону сягає 6,8...17,0%, що дозволяє обґрунтувати комплекс технічних рішень із забезпечення гідрогеомеханічної стійкості порушеного породного масиву у бортах залізорудного кар'єру.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлена залежність розподілу та величин кар'єрних водопритоків від характеру залягання та просторового положення водотривких відкладень в товщі неоднорідно-шаруватих породних масивів.

2. Виконана кількісна оцінка величин кар'єрних водопритоків та їх вплив на гідрогеомеханічну стійкість породних масивів в умовах навантажених породними відвалами ділянок бортів залізорудного кар'єру.

3. Вперше розкритий механізм порушення гідрогеомеханічної стійкості породних масивів на ділянках формування локально напірного стану підземних вод в межах неоднорідно-шаруватих породних товщ.

4. Встановлена динаміка кар'єрних водопритоків та її вплив на зміни гідрогеомеханічної стійкості бортів кар'єру при розкритті порушених підземними гірничими роботами обводнених породних масивів.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей розвитку гідродинамічних та геомеханічних процесів у природних та техногенних масивах в процесі розробки запасів залізородних родовищ, що дозволяє обґрунтувати параметри й принципи забезпечення їх стійкого стану та розробити ефективні ресурсозберігаючі заходи з підвищення їх стійкості та надійності.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень забезпечується коректністю постановки задач досліджень, використанням фундаментальних положень гідродинаміки та геомеханіки, методів математичної статистики та геоструктурного аналізу, використанням даних спостережень за рівневим режимом підземних вод та кар'єрними водопритоками, задовільною збіжністю результатів модельних розрахунків і фактичних даних при значенні коефіцієнта кореляції не нижче 0,935.

Практичне значення полягає у наступному:

Розроблені і верифіковані постійно діючі чисельні моделі геофільтрації в поєднанні з геомеханічними моделями, що складає основу для оцінки геотехнічної стійкості масивів в процесі перспективного розвитку гірничих робіт, в умовах, які визначаються складною взаємодією природних та технічних об'єктів.

Обґрунтовані параметри гідрозахисту зсувонебезпечних техногенних масивів для забезпечення їх гідрогеомеханічної стійкості в умовах розвитку гірничих робіт.

Реалізація. Результати досліджень впроваджені при виконанні проекту «Коригування робочого проекту «Рекультивация шламонакопичувача у балці Ясинова ДП «Екоантилід», виконаного ТОВ ПВП «Дніпроводпром» (акт від 15.11.2018 р.); на ПРАТ «ІНГЗК» у вигляді рекомендацій щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру та забезпечення його гідрогеомеханічної стійкості на ділянці сполучення з відвалом № 3 та рекомендацій щодо створення системи комплексного гідрогеологічного, геодезичного та геофізичного моніторингу для розробки заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій в межах порушеної гірничими роботами території (довідка від 07.07.2021 р.).

Особистий внесок автора полягає в формулюванні ідеї роботи, мети і задач досліджень, наукових положень та методики досліджень; постановці експериментів та аналізі результатів експериментальних та теоретичних досліджень; обґрунтуванні параметрів геотехнічної стійкості територій в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва. Автором адаптована методика моделювання геофільтрації до умов порушеного породного масиву, побудовані постійно діючі математичні моделі, проведені багатоваріантні ідентифікаційні та прогнозні розрахунки, встановлені закономірності зміни параметрів проникності та ємності гірського масиву, обґрунтовані параметри водорегулювання для забезпечення гірничих робіт.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на засіданнях науково-технічних рад ПРАТ «ІНГЗК», доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Дніпропетровськ, 2008, 2009); Всеукраїнській науковій студентській конференції «Геологія 21-го століття», (Одеса, 2008); міжнародному форумі студентів і молодих учених «Розширюючи обрії» (Дніпропетровськ, 2009, 2016); III, IV наукових конференціях «Гідрогеологія: наука, освіта, практика» (Харків, 2016, 2017); Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» (Дніпро, 2017).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 19 наукових працях, з них 9 статей у фахових та закордонних виданнях, 3 з яких входять до наукометричної бази Scopus; 10 – у збірниках матеріалів всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференцій (1 – у наукометричній базі Scopus).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 126 найменувань на 14 сторінках і 2 додатків на 6 сторінках. Містить 143 сторінки машинописного тексту, 111 рисунків і 37 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 225 сторінок.

1 ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА

Для гірничопромислових районів центральної та східної України характерне надзвичайно високе техногенне навантаження. Масштаб змін геологічного середовища тут пов'язаний з різноманіттям природних та техногенних факторів, які часто призводять до незворотних порушень гідрогеомеханічного та гідрогеохімічного режимів. Результатом їх впливу є активізація зсувних процесів, підтоплення й осідання денної поверхні, розвиток суфозійних і карстових явищ, що є найбільш вираженим в зоні впливу об'єктів гірничої промисловості [62, 68, 76,28, 82].

Ведення відкритих гірничих робіт супроводжується формуванням відвальних насипів, хвостосховищ, гідровідвалів. При цьому вплив на навколишнє середовище сучасних кар'єрів і техногенних масивів набуває регіонального характеру [14, 15,16].

Наведені процеси в повній мірі притаманні території Криворізького залізничного басейну, яка значним чином залучена у сферу несприятливого техногенного впливу об'єктів гірничого виробництва [123, 101].

Практика ведення відкритих гірничих робіт, особливо з огляду на збільшення розмірів розкриття та глибин ведення робіт, показує, що практично на жодному кар'єрі не вдається уникнути зсувних процесів. Руйнування уступів та бортів кар'єрів наносить значний матеріальний збиток [51].

На кар'єрах Криворізького басейну при досягненні глибоких горизонтів не рідше одного разу на 5-10 років виникають значні зсуви обсягом у декілька мільйонів кубічних метрів і щорічно відбуваються до двох десятків випадків зсувних явищ обсягом у декілька сотень кубічних метрів, що завдає великих збитків підприємству та збільшує собівартість сировини [54].

Відвалам, як техногенним ґрунтовим масивам, також властиві зсувні процеси. Практично всі відвали гірничозбагачувальних комбінатів схильні до зсув-

них явищ, а деякі ділянки знаходяться в деформованому стані. Аналіз результатів гідрогеологічних вишукувань, проведених протягом всього часу відвалоутворення, свідчить, що слабкі обводнені основи великої потужності, характерні для більшості відвалів Криворізького басейну, вивчені недостатньо або зовсім не вивчені [85]. Тому проектні параметри відвалів у одних випадках занижені, а в інших – завищені.

Аналізуючи природні та техногенні чинники виникнення зсувних процесів, слід зазначити, що найбільш небезпечними є випадки, коли штучна зміна умов стійкості схилу замаскована складною природною обстановкою. Небезпека в тому, що істинні причини, що викликають зсув, залишаються нерозкритими, й тоді численні спроби відновлення стійкості схилу можуть залишитися безрезультатними [11].

1.1 Фактори й умови розвитку гідрогеомеханічних процесів в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва

Сучасний стан техногенно порушених територій в умовах розвитку гідродинамічних і гідрогеомеханічних процесів, які відбуваються при розробці корисних копалин, розглянуто на прикладі залізородного кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» та прилеглих до нього територій.

Гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» визначаються складною гідрогеомеханічною взаємодією природних та технічних елементів системи «залізородний кар'єр – породні масиви і відвали – техногенний водообмін» [85, 69, 103, 107, 122, 19].

Протягом всього часу відпрацювання Інгулецького залізородного родовища кар'єром ПРАТ «ІНГЗК» формування водопритоків до кар'єру відбувалося за рахунок дренавання підземних вод тріщинуватої зони кристалічного масиву, теригенно-карбонатних відкладень палеоген-неогенового віку та четвертинного алювіального водоносного горизонту в заплаві р. Інгулець.

В межах східного борту діючого кар'єру визначальна частка в загальному обсязі кар'єрних водопритоків належить алювіальному водоносному горизонту, який виконує роль транзиту підземних вод від р. Інгулець до контуру їх дренажування в інтервалі розкриття алювіальних відкладень бортом кар'єру.

Безпосередньо на північній ділянці східного борту кар'єру з водопритоками пов'язаний розвиток деформаційних процесів різного характеру, найбільшими є зсуви, які відбулися у 1993 р. (об'ємом 1 млн. м³) та у 2013 р. (об'ємом 56 тис. м³). Крім того, на східному укосі відвалу № 3 відбувалися крупні зсуви підпідшовеного типу у 1988 р. (об'ємом 6 млн. м³) та у 2001 і 2004 рр. (рис. 1.1).

Після зсуву 1993 р. на північно-східному борту кар'єру утворився концентрований вихід води з витратою 100 м³/год, який поступово знизився до 18...24 м³ і проіснував до 2013 р.

У 1976-1977 рр. для захисту східного борту від проникнення фільтраційних вод з р. Інгулець в кар'єр була введена в експлуатацію протифільтраційна завіса (ПФЗ), проект якої розроблений проектно-вишукувальною конторою «Укрспецбудпроект» в 1975 р. з метою захисту східного борту кар'єру від проникнення фільтраційних вод р. Інгулець.

У 1978 р. ВІОГЕМ за результатами інтерпретації геофізичних досліджень були виділені одиничні водопроникні зони в тілі ПФЗ, потужність яких була незначна, однак вони простежувалися по всій довжині завіси.

Проведені в 1986 р. співробітниками ДОННІГРІ геофізичні роботи з визначення цілісності ПФЗ показали, що сумарна потужність зон фільтрації вздовж ПФЗ від ПК 7 до ПК 24 дорівнює 1175 м, що складає 68% від довжини її траси між цими пікетами (див. рис. 1.1).

У 1988 р. відбувся підпідшовений зсув східного укосу відвалу № 3, валом випирання якого було повністю зруйновано тіло ПФЗ від ПК 24 до ПК 35 загальною довжиною 1060 м і перекрито русло р. Інгулець. Дотепер ділянка траси ПФЗ з ПК 28 до ПК 35 засипані породами відвалу № 3.

З наведеного був зроблений висновок, що:

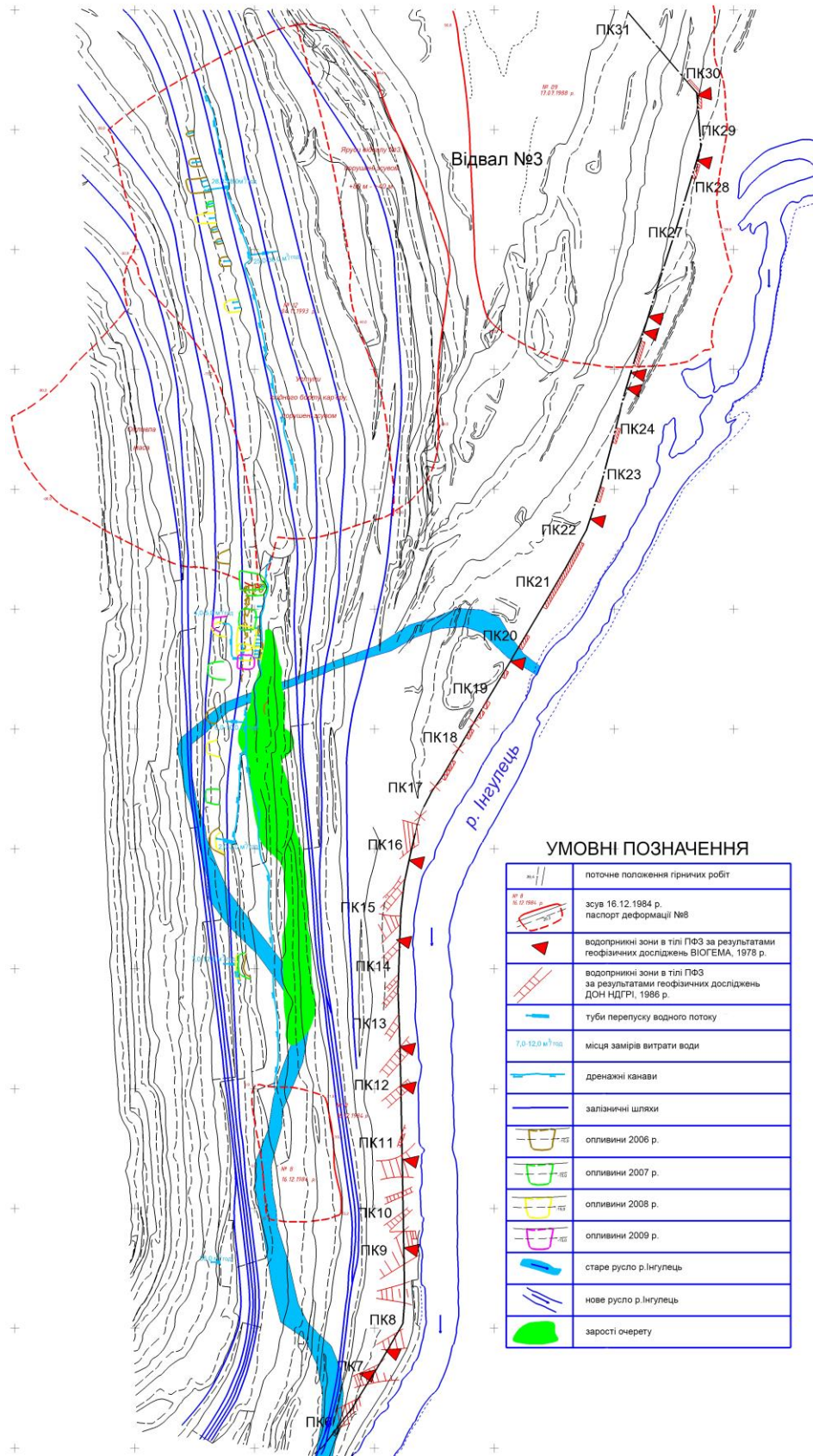


Рисунок 1.1 – Характер водопроявів і пов'язаний з ними розвиток деформаційних процесів в межах східного борту кар'єру (за даними ПРАТ «ІНГЗК»)

- захисні властивості ПФЗ від ПК 7 до ПК 24 вже до кінця 1986 р. були знижені на 68% і, можливо, дотепер зведені до нуля;
- частина ПФЗ від ПК 24 до ПК 35 повністю зруйнована і засипана відвалом № 3.

До особливостей гірничо-геологічних умов досліджуваної території відноситься її розташування у вузлі перетину двох крупних трансрегіональних розривних порушень – субмеридіонального Криворізько-Кремен-чуцького та субширотного Конксько-Нікопольського, які характеризуються в теперішній час тектонічною і флюїдальною активізацією, що приводить до деструкції осадового чохла над зонами розломів.

Так, в межах території розташування відвалу № 3 простежується регіональний Широківський розлом, який проходить вздовж південно-східного борту, та субширотний трансрегіональний Конксько-Нікопольський, представлений серією зближених розломів.

Аналіз даних інженерних вишукувань, даних режимних спостережень та спостережень за динамікою водопритоків до кар'єру свідчить, що основними джерелами формування кар'єрних водопритоків в межах східного борту кар'єру та його північно-східної ділянки є фільтраційні води р. Інгулець, за рахунок яких відбувається формування динамічних ресурсів алювіального водоносного горизонту, та інфільтраційне живлення четвертинного водоносного горизонту в межах розташування відвалу № 3 в заплаві р. Інгулець.

Про визначальний вплив фільтрації з р. Інгулець на формування кар'єрних водопритоків свідчить їх залежність від взаємного положення русла річки та контуру кар'єру в межах його східного борту. Про участь фільтраційних вод в живленні алювіального водоносного горизонту говорить також динамічно зростаюче обводнення східного борту кар'єру та хімічний склад підземних вод, які приймають участь у формуванні кар'єрних водопритоків.

Спорудження протифільтраційної завіси забезпечило досить ефективний захист східного борту кар'єру від фільтрації води з боку р. Інгулець, про що говорить різниця в рівнях води, зафіксована в спостережних свердловинах по

обидві сторони ПФЗ, але ефективність зависи з часом була суттєво знижена за рахунок численних порушень її цілісності.

Аналіз залежності величин водопритоків від кліматичних факторів (за даними ПРАТ «ІНГЗК») свідчить про наявність зв'язку кар'єрних водопритоків та кількості атмосферних опадів і їх розподілу в річному перерізі в умовах переважаючого впливу режиму р. Інгулець на їх формування.

Встановлена залежність дозволила розглядати формування акумулятивних вод в межах породного відвалу у якості одного з чинників, який сприяє обводненню східного борту кар'єру на ділянці його сполучення з відвалом № 3, розташованим в межах заплави р. Інгулець.

Непрямим свідченням впливу акумулятивних вод на гідродинамічний стан відвалу № 3 та його гідрогеомеханічну стійкість є розвиток зсувних процесів в межах східного борту кар'єру та самого відвалу, які відбувалися протягом всього часу освоєння родовища. Так, на початку 80-х рр. в межах східного борту кар'єру відбулося кілька локальних зсувів загальним об'ємом близько 1 млн. м³, причиною яких стало зволоження слабких глинистих порід, які складали уступи бортів кар'єру з абсолютними відмітками +24 м, +12 м, ±0,0 м, -15 м.

Роль алювіальних відкладень в заплаві р. Інгулець визначається розвитком в ґрунтовій товщі шару пісків різнозернистих, зі щебенем кварцу та міцних кристалічних порід, галькою та гравієм, які мають значну гідравлічну проникність, що забезпечує транзит фільтраційних вод р. Інгулець до контуру дренавання, яким є східний борт кар'єру ПРАТ «ІНГЗК».

Характерною особливістю розподілу водопритоків в межах східного борту кар'єру та його північної ділянки є їх приналежність до ділянок з пониженнями рельєфу покрівлі київських глин до абсолютних відміток менше +20,0 м, як правило +10,0...+12,0 м. Так, за даними ПРАТ «ІНГЗК», інтенсивні водопрояви (до 50 м³/год станом на 21.06.1989 р.) в межах східного борту кар'єру і пов'язані з ними масштабні зсувні деформації на ділянці сполучення з відвалом № 3 співпали з періодом входження борту кар'єру в зону з положенням покрівлі київських глин (підшви алювіальних пісків) на відмітках -6,0...+7,0 м (рис.

1.2).

Формування гідродинамічного режиму на ділянці північного борту кар'єру відбувалося під впливом роботи, а потім закриття шахти «Центральна».

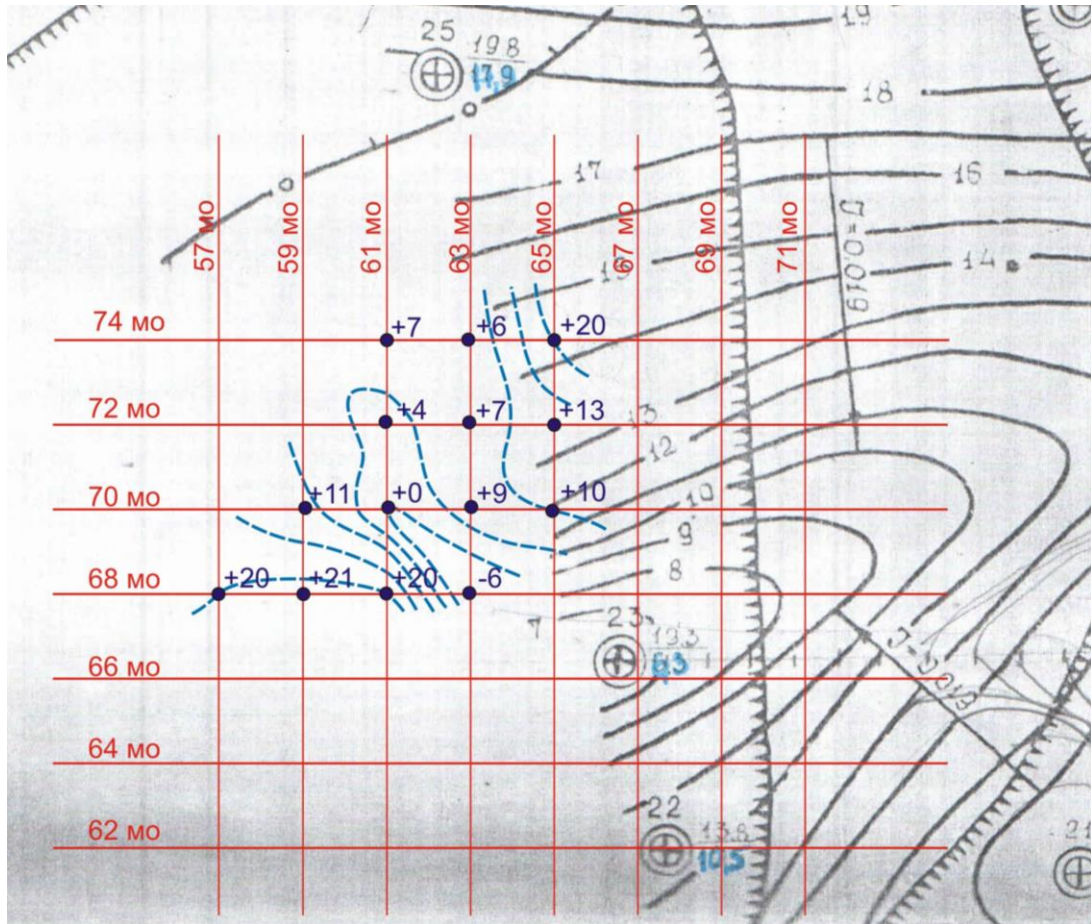


Рисунок 1.2 – Положення покрівлі київських глин на контурі північно-східного борту кар'єру в межах м.о. 68...74/57...67 (за даними ПРАТ «ІНГЗК»)

Шахта «Центральна» збудована в 1932-1936 рр. та була однією з найбільш значних шахт Криворізького басейну того часу, проіснувала до 1997 р., коли після її ліквідації з'явилася можливість розширення кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» на північ та захід.

З початку відпрацювання Інгuleцького родовища та до ліквідації у 1997 р. водовідливу шахти «Центральна» на території рудного поля шахти в залізородній товщі та оточуючих породах утворилась депресійна воронка підземних вод, що мала витягнуту форму з півдня від кар'єра ПРАТ «ІНГЗК» на пів-

ніч до кар'єру «Візирка-Південний» більш ніж на 3 км. На півдні вона об'єднувалась із депресійною воронкою кар'єра ПРАТ «ІНГЗК» та просліджувалась до 4 км на південь. Ухил депресійної воронки в межах шахтного поля складав 0,0044 у бік північного борту кар'єра. Складні умови формування водопритоків у гірничі виробки зумовили асиметричну форму воронки, яка була більш крута в межах шахтного поля та більш полого за його межами.

До припинення роботи шахтного водовідливу (09.04.1997 р.) максимальна глибина рівня води в породах метаморфічного водоносного комплексу знаходилась у зумпфовій частині ствола шахти «Центральна», тобто на 30 м нижче горизонту –850 м. В кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК» рівень підземних вод на той час знаходився на глибині 300 м, або на позначці –240,0 м.

Таким чином, сформована після відпрацювання Інгулецького родовища шахтним способом значна за розмірами депресійна воронка захищала північний борт кар'єру від надходження напірних вод з боку шахти «Центральна».

Після початку затоплення шахти «Центральна» у 1997 р. та до кінця 2000 р. рівень води у стволі шахти піднявся до відмітки –200,0 м.

За даними замірів рівнів води по стволам шахт «Центральна» та «Вентиляційна-Березнегувата» (з 2001 р.) за перший рік після припинення водовідливу (1997 р.) відновлення рівнів відбулося на 214 м до відмітки –566,0 м, за другий – на 160 м, третій-п'ятий роки – близько 100 м. У 2002 р. (шостий рік) рівень піднявся на 57,0 м, після чого відновлення припинилося на відмітці –49,0 м.

Починаючи з 2004 р. почалось поступове зниження рівнів підземних вод, зумовлене дренажним впливом північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» зі швидкістю до 12 м на рік.

За період 2003-2014 рр. зниження рівня підземних вод поблизу північного борту кар'єра склало близько 50 м, що було викликане не тільки пониженням відмітки гірничих робіт в кар'єрі, але й зростанням фільтраційної проникності масиву кристалічних порід в районі зони обрушення внаслідок відпрацювання родовища багатих залізних руд.

Що стосується водопритоків до кар'єру, то після стабілізації рівня підзе-

мних вод в межах шахтного поля було зафіксовано постійне збільшення обводнення північного борту. Найбільший об'єм надходження шахтних вод до північного борту був відмічений у 2003 р., після розкриття гірничої виробки ш. «Центральна» у північному борті кар'єру. Зрізка ствола і гірничих виробок ш. «Центральна» на глибині 129 м відбулась у листопаді 2002 р., при цьому на раніше майже необводнений північний борт кар'єру надходило близько 75 м³/год шахтних вод (горизонт –60 м), максимальний приток сягав 150 м³/год. В подальшому у 2007-2008 рр. при зрізці бортом кар'єру ствола шахти на глибині 175 м на гор. –75 м надходило до 243...320 м³/год шахтних вод.

Такі високі об'єми дренажних вод свідчать про значну область живлення водоносного комплексу метаморфічних порід у північній частині кар'єру, переважно за рахунок ємнісних запасів у затоплених старих гірничих виробках.

У 1988-1997 рр. водоприток у кар'єр переважно складався на 26,0...55,0% з порід осадового покриву (в середньому 35,9 %), на 40,0 % з притоку з метаморфічної й гранітоїдної товщ та надходження води з осадових порід у рудоносну товщу, близько 20,0% – з вод атмосферних опадів..

У 2013 р. випереджаюче дренавання порід у північному борту кар'єру було здійснене шляхом створення водоспускних «щілин», пройдених у масиві кристалічних порід на глибину 32 м на горизонтах –60 м, –105 м, –195 м, –210 м, –225 м, –240 м, –255 м, –315 м, –325 м за допомогою підривання віял свердловин, що створювало додаткові зони тріщинуватих порід, полегшуючих проведення дренажу.

Гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» визначаються сучасним його положенням в межах площі відпрацьованого шахтного поля шахти «Центральна».

Просторово поле шахти «Центральна» витягнуте вздовж р. Інгулець із півночі на південь на відстань близько 3,0 км і має ширину до 800 м. На півдні шахтне поле безпосередньо примикає до кар'єрного поля ПРАТ «ІНГЗК», яке простягається на південь більш ніж на 5 км.

В межах входження північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в поле під-

земних гірничих виробок шахти «Центральна» зони воронок та провалів, розривів та зрушень простежуються на глибину до абсолютних відміток -400 м (рис. 1.3, 1.4).

Гірничо-геологічна обстановка в районі шахтного поля шахти «Центральна» в значній мірі визначається наявністю затоплених кар'єрів «Березнегуватий», «Східний», «Західний», «Центральний», «Візирка-Південний», «Візирка-Центральний», «Візирка-Північний», шахт «Руська», «Магістраль», «Француз» та ін. При ліквідації гірничі виробки засипані розкривними породами та у подальшому обводнені. В результаті всі вони є джерелами додаткового живлення рудних покладів, які були осушені раніше. Вироблений простір шахти «Центральна» представлений системою порожнин, частково заповнених обваленими породами та поширюється на глибину 850 м [93].

Затоплення шахти призвело до перерозподілу потоків підземних вод та збільшенню доли водопритоку в кар'єр переважно за рахунок вод руднокристалічного комплексу.

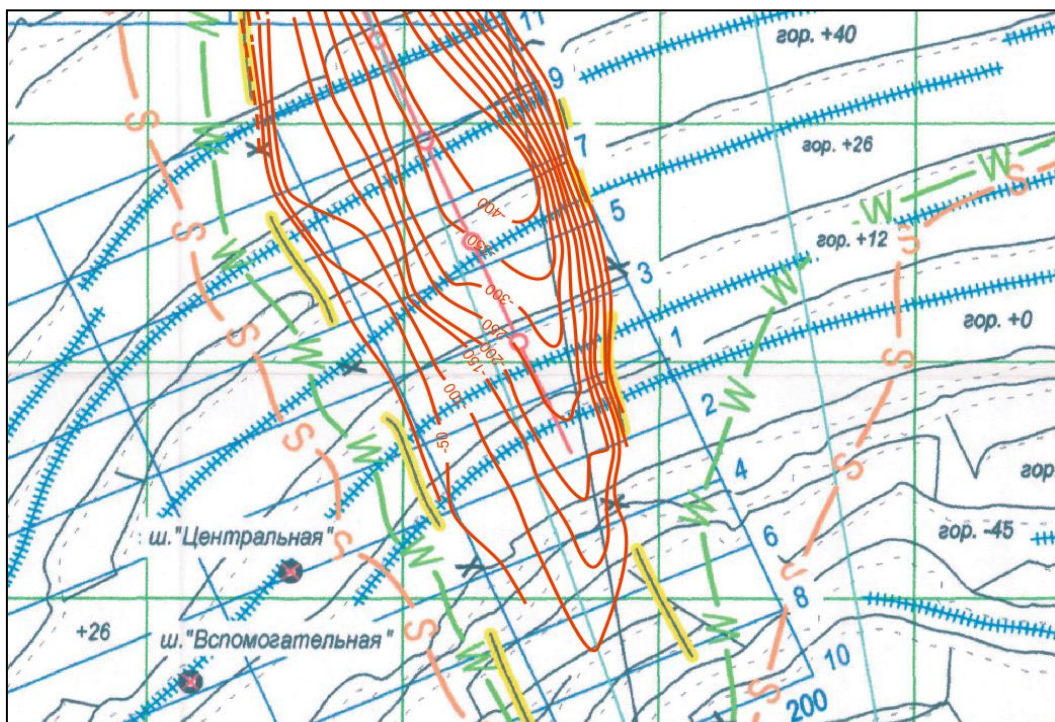


Рисунок 1.3 – Рельєф підосви зони воронок та провалів у межах північного борту кар'єра ПРАТ «ІНГЗК», абс. відм., м

Джерелами формування водопритоків в кар'єр є динамічні ресурси підземних вод, що залучаються з площ непорушеного гідрогеологічного режиму водоносних горизонтів, а також за рахунок поверхневих вод р. Інгулець та чисельних водоймищ, створених в крупних балках та відпрацьованих кар'єрах. Найбільш крупними поверхневими водоймищами на площі родовища, поверхневі води яких приймають участь в живленні водоносних горизонтів, є ставки в балках Склеювата, Березнегувата, каскад затоплених кар'єрів «Візирка».

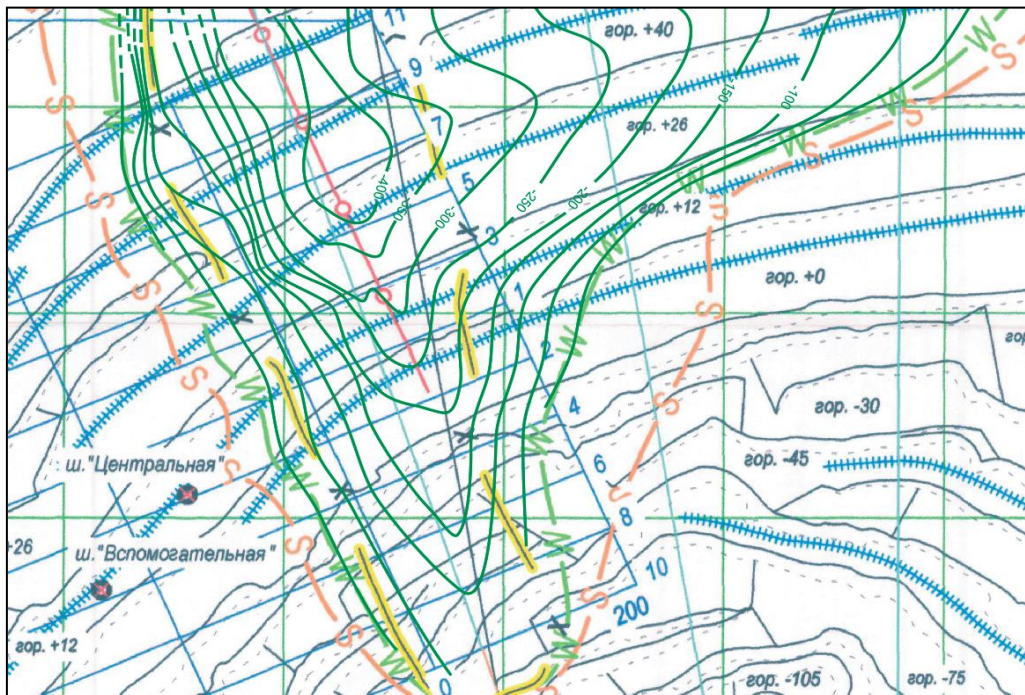


Рисунок 1.4 – Рельєф підшови зони тріщин у межах північного борту кар'єра ПРАТ «ІНГЗК», абс. відм., м

Після завершення затоплення шахти «Центральна» та відновлення рівнів підземних вод з 2002-2003 рр. у кар'єрі спостерігалось значне збільшення водопритоків здебільшого за рахунок надходжень із рудно-кристалічного комплексу з боку північного борту (рис. 1.5). З часом відбулося поступове та незначне їх зниження, вочевидь, за рахунок спрацювання ємнісних запасів в межах північного борту, що пов'язано з постійним поступовим зниженням базису дренажування (рис. 1.6). Причому, як і раніше, спостерігається досить виразна кореляція

величин водопритоків з кількістю атмосферних опадів.



Рисунок 1.5 – Динаміка кар’єрного водовідливу та атмосферних опадів за період 1996-2018 рр.

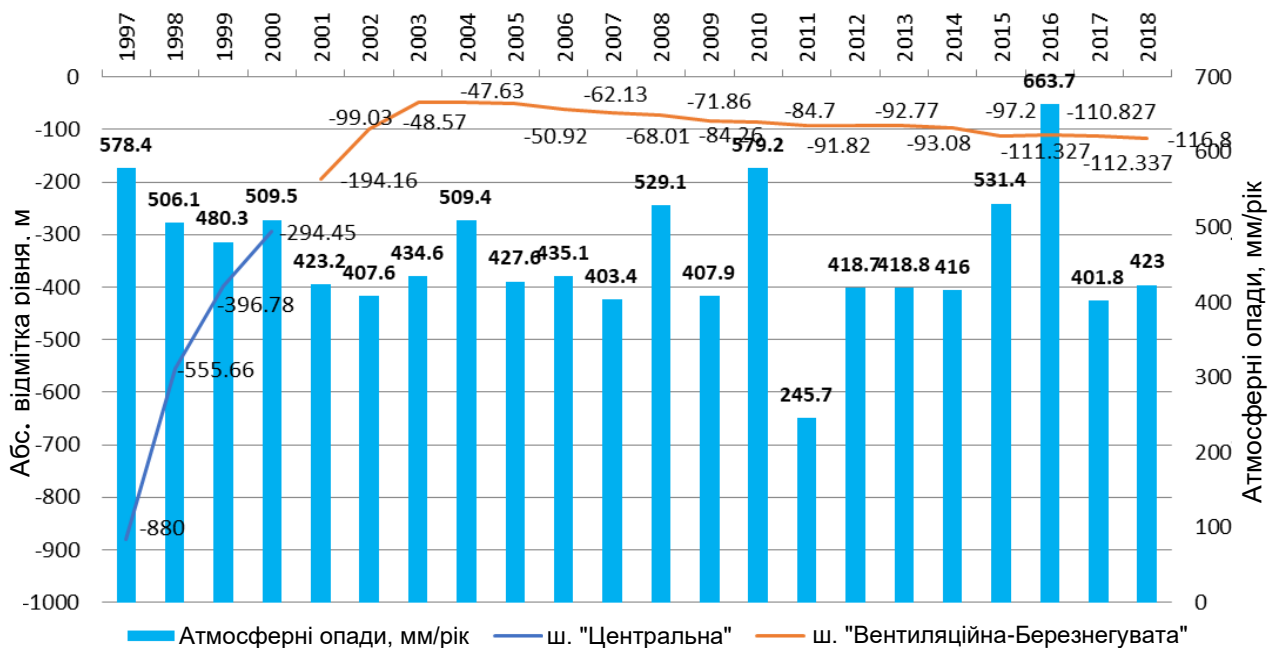


Рисунок 1.6 – Динаміка рівнів підземних вод поля ш. «Центральна» з 1997 по 2018 рр.

За даними спостережень за поверхнею конуса депресії по стволу ш. «Вентиляційна-Березнегувата» зниження рівнів підземних вод в результаті розвитку гірничих робіт на північному борту кар’єру починаючи з 2004 року і до сьогодні відбувається на величину 0,5...12,0 м/рік, в середньому 5,0...6,0

м/рік. Протягом 2018 р. зниження рівня підземних вод відбулося на 4,52 м до абсолютної відмітки –116,86 м (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 – Положення рівня води у воронці гідравлічної депресії
станом на 01.01.2019 р.

Гідроспостережні пости	Абсолютна відмітка, м	Зниження (-), підвищення (+) рівня води за рік, м
Кар'єр «Візирка-Північний»	+31,40	-0,35
Кар'єр «Візирка-Центральний»	+28,83	-0,40
Кар'єр «Візирка-Південний»	+18,34	-0,60
Ш. «Магістраль»	-80,71	-2,80
Ш. «Вентиляційна-Березнегувата»	-116,86	-4,52
Кар'єр «ІНГЗК» уступ –120/–135 м	-127,20	-14,30
Кар'єр Водовідлив	-393,00	±0,00
Кар'єр «ІНГЗК» уступ +36/+24 м	+28,00	±0,00
Т.н. озеро «Південне»	+29,80	-0,14

За інформацією геологічної служби ПРАТ «ІНГЗК» на сучасному етапі розвитку гірничих робіт кар'єр обводнюється за рахунок водопритоків з наступних водоносних горизонтів: алювіального, понтичного, сарматського, київського, рудно-кристалічного водовміщуючого комплексу, атмосферних опадів та технологічних скидів.

Протягом 2015-2019 рр. водопритоки в середньому по кар'єру склали (табл. 1.2):

- західний борт (понтичний, сарматський, київський водоносні горизонти) – 85,0...125,0 м³/год;
- східний борт (алювіальний водоносний горизонт) – 90,0...120,0 м³/год;
- південний борт 30,0...40,0 м³/год;
- з руднокристалічного водовміщуючого комплексу надходить до кар'єрного водовідливу близько 290,0...380,0 м³/год;
- за рахунок атмосферних опадів – близько 220,0 м³/год;
- технологічні скиди – в середньому до 190,0 м³/год.

Таблиця 1.2 – Середні величини водопритоків до кар'єру за даними геологічної служби кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

№ з/п	Борт кар'єру	Водоносний горизонт	Середньорічний водопріток, м ³ /год				
			2014 р.	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.
1	Західний	Понтичний (N_{2p}) та сарматський (N_{1sr})	95,0...125,0	90,0...130,0	90,0...130,0	70,0...115,0	85,0...130,0
2	Східний	Алювіальний (Q_{III-IV})	90,0...115,0	90,0...120,0	80,0...120,0	90,0...120,0	90,0...120,0
3	Південний	Алювіальний (Q_{III-IV})	30,0...40,0	30,0...40,0	30,0...40,0	25,0...40,0	30,0...45,0
4	Північний	Осадочний комплекс на ділянці шахтного поля ш. «Центральна»	-	-	-	-	-
5	Руднокристалічний комплекс		350,0...440,0	300,0...380,0 (130,0...160,0 – із зони порушених порід)	н.д.	250,0...350,0	260...360,0
6	Атмосферні опади		173,0	216,0	н.д.	245,0	250,0
7	Технологічні скиди		до 200,0	до 206,0	н.д.	до 180,0	до 180,0

На північному борту кар'єру явні водопрояви з осадочних відкладень здебільшого не спостерігаються. У 2018 р. при бурінні блоку гор. –255 м із буровибухових свердловин відбувався інтенсивний вихід шахтних вод із подальшим їх розтіканням по горизонту. Також на цій ділянці спостерігався вихід води в нижній частині уступу –240/–255 м. Сумарний приток візуально оцінювався в 90 м³/год.

Протягом 2018 р. незначні водопрояви у вигляді височувань із витратою 0,3 м³/год спостерігалися на відмітці –127 м (в укосі з'їзду –120/–135 м). Однак, нижче, в уступі –360/–375 м спостерігався потужний потік води (візуально оцінений в 90...100 м³/год), що складався з шахтних вод, вод кристалічного комплексу та вод із водоносних горизонтів осадової товщі, що перетікають крізь зону зрушень.

1.2 Закономірності формування гідрогеомеханічного стану породних масивів під впливом техногенного водообміну

Розвиток деформаційних процесів різного ступеня інтенсивності на ділянці північно-східного борту кар'єру простежується майже протягом всього часу відпрацювання ПРАТ «ІНГЗК» Інгuleцького залізорудного родовища.

За даними ВІОГЕМ, починаючи з 1981 р. в межах східного борту кар'єру фіксуються деформації переважно зсувного характеру. Їх положення в контурах східного борту у більшості випадків визначається положенням старого русла р. Інгuleць та існуючих водних об'єктів, що свідчить про визначальний вплив на стан породного масиву гідравлічної складової.

Слід відзначити, що майже у всіх випадках розвиток деформаційних процесів відбувається переважно в осінній період, що може свідчити про суттєвий вплив кліматичного фактору – як розподілу атмосферних опадів у річному перерізі, так і характеру опадів, що в загальному випадку забезпечує сприятливі умови для додаткового інфільтраційного живлення підземних вод (табл. 1.3).

Крім того, якщо деформації опливин і обвалень притаманні верхній частині розрізу в інтервалі четвертинних відкладень, представлених переважно суглинками і суглинками з прошарками пісків, то власне зсувні деформації відбуваються з формуванням поверхонь зсуву в межах інтервалу залягання глин палеогенового віку – київського та бучацького ярусів. У першому випадку деформації відбуваються в межах горизонтів від +26/+12 м до $\pm 0,0/-5,0$ м, у другому – охоплюють інтервал горизонтів від +46/+26 м до $-15,0/-30,0$ м.

Таблиця 1.3 – Характеристика деформаційних процесів у межах східного борту кар'єру та його північної ділянки

№ з/п	Дата	Місце розташування	Горизонт	Характеристика деформацій	Особливості будови та водопрояви
1	19.11.1981	Східний борт кар'єру, м.о. 68...71/38...48; вид деформацій – зсув	+24.0/+15,0	довжина – 500 м; - ширина – 120 м; - об'єм – 200 тис. м ³	нема даних

№ з/п	Дата	Місце розташування	Горизонт	Характеристика деформацій	Особливості будови та водопрояви
2	22.10.1981	Східний борт кар'єру, м.о. 65...67/48...52; вид деформацій – зсув	+12,0/-5,0	довжина – 130 м; ширина – 50 м; об'єм – 32 тис. м ³	нема даних
3	1981-1983	Східний борт кар'єру, м.о. 40...45; вид деформацій – зсуви, опливини, обвалення	+12,0/-15,0	довжина – 200 м; ширина – 5 м; об'єм – 0,5 тис. м ³	нема даних
4	16.12.1984	Східний борт кар'єру, м.о. 67...69/36...42; вид деформацій – зсув	+34,0/± 0,0	довжина – 200 м; ширина – 130 м; об'єм – 300 тис. м ³	нема даних
5	17.07.1988 09 г 30 хв.	Східний борт відвалу № 3; вид деформацій – зсув; перекрито русло р. Інгулець	просадка відвалу на висоті 30 м	довжина по фронту – 980 м; ширина в глибину – 390 м; висота хвостової частини – 57 м; об'єм зсуву – 6 млн. м ³ ; швидкість зсуву до 2,0 м/добу і більше	четвертинні відкладення: суглинки, глини, піски потужністю 8,6 м;
6	04.11.1993	Західний борт відвалу № 3 і східний борт кар'єру; м.о. 60...76; вид деформацій – зсув	+46,0; +34,0; +26,0; ± 0,0; -15,0; -30,0	довжина по фронту – 400...850 м; ширина в глибину – 150...180 м; об'єм – 1,0 млн. м ³ ; об'єм захоплених порід – 5 млн. м ³	четвертинні відкладення: суглинки, глини, піски потужністю 8,6 м; приток із пісків <i>Qal</i> на ділянці зсуву перед сповзанням масиву складає 50 м ³ /год
7	17.10.2013 03 г 00 хв. (Паспорт деформацій № 23)	Східний робочий борт кар'єру; м.о. 67...69/66...70; вид деформацій – зсув	+12,0/± 0,0; висота уступу 13 м; кут укосу 40° (проектний 31°)	довжина – 130 м; глибина – 20...22 м, максимальна – 26 м; зміщення – 3,5 м; об'єм – 56 тис. м ³ ; швидкість зсуву до 2,0 м/добу і більше	підосва пісків <i>Qal</i> : +3,0 м; підосва глин <i>P₂kv</i> : -11,0 м; породи зміщені великими блоками; ділянка зсуву інтенсивно обводнена; в укосі +12,0 / ± 0,0 площинне височування; приток 24,16 м ³ /год
8	22.08.2015 01 г 30 хв. (Паспорт деформацій № 26)	Східний робочий борт кар'єру; м.о. 63 ⁺⁵⁰ ...67/72 ⁺³⁰ ...76 ⁺⁵⁰ ; вид деформацій – обвалення	+26,0/+12,0, +12,0/± 0,0, ± 0,0/-15,0; висота уступу 12...15 м; кут укосу	довжина тах – 150 м; глибина тах – 15 м; зміщення тах – 12 м; об'єм – 97 тис. м ³ швидкість зсуву - миттєво	підосва пісків <i>Qal</i> : +9,0...+16,0 м; глини <i>P₂kv</i> складають уступ ±0,0 / -15,0; ділянка зсуву інтенсивно обводнена; в укосі +12,0 / ± 0,0 ра-

№ з/п	Дата	Місце розташування	Горизонт	Характеристика деформацій	Особливості будови та водопрояви
			38° (проектний 38°)		ніше спостерігалось площинне височування; після зсуву відзначається концентрований потік 5 м ³ /год і численне височування, здебільшого в північній частині ділянки
9	17.10.2015 06 г 30 хв. (Акт розслідування деформацій)	Східний борт кар'єру; м.о. 65...67/74...76; вид деформацій – обвалення	+12,0/± 0,0; висота уступу 12 м; кут укосу 38°	довжина тах – 165 м; глибина – 8...10 м тах – 15 м; зміщення тах – 12 м; об'єм – 33 тис. м ³ ; швидкість зсуву – не вказано	підосва пісків <i>Qal</i> +3.0 м; глини <i>P₂kv</i> складають уступ ±0,0 / –15,0; породи зміщені великими блоками; ділянка зсуву інтенсивно обводнена; в укосі +12,0 / ± 0,0 площинне височування
10	26.11.2015 10 г 30 хв. (Паспорт деформацій № 27)	Східний робочий борт кар'єру; м.о. 63 ⁺⁵⁰ ...67/72 ⁺³⁰ ...76 ⁺⁵⁰ ; вид деформацій – обвалення	+40,0/+26,0, +26,0/+12,0, +12,0/± 0,0, ± 0,0/–15,0; висота уступу 12...14 м; кут укосу 22° (проектний 22°)	довжина тах – 300 м; глибина тах – 60 м по гор. +40 м; зміщення тах – 40 м; об'єм – 320 тис. м ³ ; швидкість зсуву – миттєво	+40,0 / +26,0 – насипні породи змішаного складу; +26,0 / +12,0 – насипні змішані породи, фрагментарно суглинки (м.о. 74 ⁺⁵⁰ ...76 ⁺²⁰) в середній частині укосу потужністю 3...4 м; піски <i>Qal</i> – в верхній частині +12,0 / ± 0,0; глини <i>P₂kv</i> складають уступ ±0,0 / –15,0; глини <i>P₂kv</i> мають блочну будову; ділянка зсуву інтенсивно обводнена; концентровані потоки в нагірній канаві м.о. 76...78 ⁺²⁰ ; площинне височування з пісків
11	16.04.2016 (Паспорт деформацій № 28)	Східний борт кар'єру; м.о. 65 ⁷⁰ ...67 ³⁸ /54 ⁷⁴ ...56 ⁵ ; вид деформацій – опливання	+ 9,0/–15,0 (+9,0/± 0,0, ± 0,0/–15,0); кут укосу: - до опливання 31°48'; - після опливання	довжина тах – 85 м; глибина тах – 6 м; зміщення сер. – 15 м; об'єм – 60 тис. м ³ ; швидкість зсуву – плавно	+14,0 м – підосва пісків <i>Qal</i> потужністю 6...10 м та суглинків і супісків потужністю до 3,0 м; уступи + 9,0 / –15,0 складені глинами <i>P₂kv</i> ; нижня частина ± 0,0 / –15,0 глини <i>P₂bc</i> потужністю 5...6 м, підосва

№ з/п	Дата	Місце розташування	Горизонт	Характеристика деформацій	Особливості будови та водопрояви
			21°06'		на -16,0...-17,0 м; на ділянці існував гідроспостережний пост; сумарний водоприток у середньому складав 3...5 м ³ /год

Поліпшенню загальної ситуації з розвитком негативних деформаційних процесів в межах східного борту кар'єру мало сприяти будівництво у 1970-х роках ПФЗ, за рахунок чого зменшувалось надходження фільтраційних вод з р. Інгулець до ділянки кар'єру межах м.о. 26...84 і, відповідно, відбувалось зменшення впливу гідравлічної складової на гідрогеомеханічний стан верхньої частини розрізу східного борту кар'єру.

Однак, як на це вже було вказано вище, виконані оцінки стану ПФЗ дали підстави вважати, що її ефективність з часом була суттєво знижена, що сприяло збереженню існуючої ситуації щодо гідрогеомеханічної стійкості східного борту кар'єру. Цьому ж сприяв і масштабний зсув, який відбувся в межах східного укосу породного відвалу № 3 у 1988 р., в результаті якого була зруйнована значна частина ПФЗ на ділянці м.о. 66...84 в межах північної частини східного борту кар'єру.

Одним із результатів порушення цілісності ПФЗ на цій ділянці можна вважати і розвиток масштабного зсуву, який стався 1993 року і охопив значний об'єм порід на ділянці сполучення східного борту кар'єру з породним відвалом № 3 (див. табл. 1.3).

До особливостей цього зсуву відноситься формування значних за обсягами водопритоків – до 50 м³/год, які супроводжували розвиток зсувних деформацій і могли вказувати на існування в межах зсувної ділянки значних статичних запасів води, а також свідчити про створення відповідних умов для їх концентрованого виходу. До зсувного деформування на цій ділянці в межах горизонтів +46,0/-30,0 м були залучені як породи корінного масиву східного борту кар'єру, так і складовані в межах західного укосу відвалу № 3 гірські породи

змішаного складу.

Протягом останніх років (2013-2016 рр.) розвиток деформаційних процесів відбувався уже в межах зсуву 1993 р., зберігаючи загальні закономірності зсувного деформування, пов'язаного з обводненням супіщано-суглинової товщі четвертинних відкладень і товщі глин кийвського і бучацького ярусів палео-гену. Так, спільними ознаками зсувів 2013 та 2015 рр. в м.о. 72...76 є формування площинних водопроявів по підшві алювіальних різнозернистих пісків на горизонті $+12,0/\pm 0,0$ м та залучення до деформування глинистих відкладень на глибину до $-15,0$ м, тобто на глибину залягання підшви кийвських глин палео-гену і їх контакту з бучацькими вуглистими глинами.

Загальною ж особливістю розвитку більшості зсувних деформацій в межах східного борту кар'єру, як і у попередніх випадках, слід визнати їх приуроченість у часовому перерізі до осіннього періоду року. Кліматичний фактор у даному випадку, вочевидь, пов'язаний саме з характером атмосферних опадів, що за умови їх рівномірного випадання сприяло підвищеному зволоженню ґрунтів основи і складованих у відвал порід при відносно низькій інтенсивності самих опадів, зводячи до мінімуму поверхневий стік.

Не впливаючи суттєво на величини кар'єрних водопритоків таке інфільтраційне живлення в умовах можливої низької гідравлічної проникності породного матеріалу в основі відвалу та його підґрунті може сприяти формуванню значних гідравлічних напорів в межах розташування породного відвалу, та, як наслідок, розвитку деформаційних процесів зсувного характеру на ділянці сполучення відвалу № 3 зі східним бортом кар'єру.

Що стосується північного борту кар'єру, то наразі процеси зрушення в межах підроблених підземними гірничими виробками площі вважаються завершеними. Деформаційні процеси в бортах кар'єру спостерігаються переважно на східному та західному бортах кар'єру і пов'язані з обводненням товщ осадових відкладень підземними водами, а прояви деформаційних процесів в межах північного борту носять поодинокий характер.

В 2017 р. на східному борту кар'єра 04.02.2017 р. в м.о. 84⁷⁰...86²⁰; 57

відбулась деформація уступів $+12/\pm 0,0$ м у вигляді опливини. Однією з головних причин було перезволоження глин київського ярусу в результаті надходження води із залягаючих вище понтичного та сарматського водоносних горизонтів, а також локальне зниження покрівлі кори вивітрювання гранітів на цій ділянці. Згідно розроблених заходів, що передбачали виймання зсунутої ґрунтової маси та заміщення її скальними породами, прояв було ліквідовано.

На західному борту кар'єра в м.о. $58^{+55} \dots 58^{+75}$; $41^{+30} \dots 41^{+70}$ відбулось зрушення гірничої маси в уступі $-240/-270$ м. Визначальними причинами були гірничо-геологічні та гірничотехнічні фактори.

Протягом 2018 р. на східному борті кар'єру значних порушень стійкості не зафіксовано. Відзначалась одинична деформація уступу $-30/-45$ м в м.о. $70^{80} \dots 72^{32}$; $63^{35} \dots 63^{55}$ шириною 52 м, пов'язана з перетіканням води з верхньої частини укусу з системи дренажних каналів (концентрований потік з витратою $15 \dots 18$ м³/год) на горизонті -30 м. В результаті відбулось опливання гірничої маси, представленої корою вивітрювання гранітів, і, як наслідок, деформування верхньої бровки та зменшення ширини берми горизонту -30 м.

На західному борті кар'єра в м.о. $68^{00} \dots 68^{50}$; $31^{50} \dots 33^{00}$ відбулось опливання гірничої маси в уступі $\pm 0,0/-15$ м, представленої глинами київського ярусу. В результаті перезволожена гірнична маса сповзла на нижні горизонти -15 м та -30 м. В тілі опливини відмічено декілька концентрованих потоків із сумарною витратою близько 25 м³/год. Довжина деформованої ділянки по фронту склала 50 м. У листопаді, на захід від цього порушення, з декількох буровибухових свердловин (м.о. $68^{04} \dots 68^{11}$; $31^{02} \dots 31^{10}$) спостерігався самовилив води з вимиванням білувато-сірого піску, який тривав до кінця року. При відпрацюванні уступу $\pm 0,0/-15$ м раніше піски закартовані не були.

26.10.2018 р. м.о. $88^{50} \dots 88^{70}$; $45 \dots 45^{20}$ на північному борту кар'єра в забої ЭКГ 8И хоз. № 73 відбулось зміщення порід в об'ємі 285 м³ в вироблений простір екскаваторної заходки та на залізничні колії. В результаті були засипані два думпкари. Визначальною причиною є східний азимут падіння порід (в бік екскаватора) під кутом $68 \dots 70^\circ$ контакту тальків та першого сланцевого горизонту.

В 2018 р., як і в попередній період, відбулось інтенсивне просування гірничих робіт в північному напрямку на горизонтах +26 м; +12 м; +0,0 м; –15 м; –30 м. В результаті північним бортом розкриті старі кар'єри рудоуправління Інгулець по видобутку бурого залізняка, природнобагатих руд гематит-мартитового складу та зона зрушення шахти «Центральна». Зона зрушення представлена частково обрушеними (зміщеними переважно по вертикалі) окремими блоками цілика (деякі сягають 30 м) та з поверхні здебільшого раніше засипана розкритими породами змішаного складу. Максимальна загальна довжина старих кар'єрів та зони зрушення, розкрита уступами кар'єру по фронту, складає більше 300 м.

В результаті просування фронту гірничих робіт в північному напрямку проводилось відпрацювання стовбура та навколостовбурового простору шахти «Центральна». Під час виконання цих робіт пустот не виявлено, стовбур засипаний до абс. відм. 150,0 м. В даний час стовбур шахти знаходиться на відмітці –45,0 м.

Слід відзначити, що у переважній більшості випадків прояви негативних деформаційних процесів в межах бортів кар'єру пов'язані з водопроявами в покриваючій товщі осадових відкладень в межах інтервалу залягання покрівлі кийських глин палеогену. При цьому на характер та просторовий розподіл водопровів впливає рельєф та ухил покрівлі водотривких глин.

1.3 Стан теоретичних та практичних розробок з прогнозування та управління геотехнічною стійкістю породних масивів

Вивчення регіональних гідродинамічних змін в зоні впливу гірничих робіт ґрунтується на наукових та методичних напрацюваннях таких вчених як Шестаков В.М., Мироненко В.О., Руминін В.Г., Гальперін А.М., Норватов Ю.О., Щеголев Д.І., Троянський С.В., Сироватко М.В., Прохоров С.П.,

Климентов П.П., Скабалланович І.А., Седенко М.В., Плотников М.І., Абрамов С.К., Газізов М.С., Паукер Н.Г. та ін.

Ґрунтовні дослідження в напрямку оцінки гідрогеохімічних змін під впливом експлуатації відвалів гірських порід та ставків-накопичувачів проведені Кроїк Г.А., Євграфкіною Г.П., Ситніковим А.Б., Шматковим Г.Г., Ніколаєвою І.О., Сухоребрим А.О., Хільчевським В.К. та ін. [18, 27, 37, 38, 80, 92, 111].

Дослідниками встановлено, що при веденні гірничих робіт з повним обваленням виробленого простору, геомеханічні процеси формують нові властивості масиву гірських порід. У зонах обвалення розвивається техногенна тріщинуватість, що призводить до зростання проникності, значного збільшення ємнісних властивостей масиву гірських порід [45, 70, 77].

При гідрогеодинамічному моделюванні головним чином застосовуються чисельні методи розв'язання крайових задач, а саме методи кінцевих різниць (МКР), кінцевих елементів (МКЕ), граничних елементів (МГЕ). Найбільш поширеним при розв'язанні задач гідрогеомеханіки є метод кінцевих елементів [89, 91, 115], а задач геофільтрації – метод кінцевих різниць, який заснований на дискретній апроксимації геофільтраційного потоку в просторі і часі. Неперервне фільтраційне поле представляється у вигляді фіктивної сіткової області, яка характеризується величинами напорів у всіх вузлових точках на ряд моментів часу. Для виведення кінцево-різницевого рівняння використовується балансовий метод [13, 12] і для кожного елементарного блоку сіткової розбивки складається рівняння балансу, яке замінюється відповідним різницевою виразом [35, 56, 73, 116].

Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь геофільтрації реалізуються на практиці за допомогою відповідного прикладного програмного забезпечення, докладний огляд якого зроблений в роботах [29, 73, 118]. На теперішній час найбільш поширеними серед них є програми PMWIN (Processing Modflow for Windows, США), FEFLOW (Німеччина), MIF (Україна), FLOWNET (Канада), GWFSMTS та ModTech (РФ) та ін. Вони призначені для

моделювання стаціонарних та нестаціонарних процесів геофільтрації та міграції.

Зі становленням та розвитком математичного моделювання геофільтраційних процесів пов'язані роботи Шестакова В.М., Карплюса У., Р. де Уиста, Бера Я., Заславські Д., Ірмея С., Лукнера Л., Жернова І.Є., Крашина І.І., Мироненка В.О., Гавіч І.К., Пашковського І.С., Павловця І.М., Ситнікова А.Б., Огняника М.С., Гороховського В.М., Коносавського П.К., Кошлякова О.Є., Мартинюка П.М. та ін.

Основи теорії геофільтраційного моделювання детально викладені в працях [12, 49, 42], а методика і застосування на практиці – в роботах [126, 117, 67]. Питанням дослідження і прогнозування техногенного режиму підземних вод в умовах розробки родовищ корисних копалин присвячені роботи Норватова Ю.О., Петрової І.Б., Руминіна В.Г., Ломакіна Є.О., Мольського Є.В., Садовенка І.О., Пасічного В.Г., Рудакова Д.В., Євграшкіної Г.П., Білокопитової Н.А. та ін. [74, 56, 45, 47, 78, 57, 7].

Питання дослідження стійкості природних та техногенних масивів при розробці родовищ відкритим способом розглянуті в роботах [44, 50, 50, 24, 19, 1, 2, 81, 64].

Проблеми відпрацювання підроблених бортів кар'єрів знайшли відображення у працях таких відомих учених, як Б.П. Юматов, В.В. Куликов, В.Р. Іменітов, А.К. Поліщук, Д.М. Казікаєв, В.А. Щелканов, Г.І. Чорний та ін. [63, 39, 30, 95, 112]. Також перспективи залучення до відкритої розробки запасів, що розміщені у зоні можливого зрушення в межах відпрацьованих підземним способом ділянок досліджувались у роботах [8, 58, 63, 96]. Л.І. Барон вважає відкриття розробку у зонах впливу підземних гірничих робіт назрілим актуальним завданням для багатьох родовищ руд чорних металів. Автор стверджує, що є всі підстави розцінювати це завдання як важливу та нову проблему гірничої науки [5].

Оцінці стійкості бортів залізорудного кар'єру в умовах його підроблення підземними гірничими роботами присвячена робота [52], де аналітичні розра-

хунки алгебраїчним додаванням сил дозволили обґрунтувати найбільш раціональні параметри геометрії уступів та запропонований підхід кластерного аналізу.

Проблема врахування неоднорідності при оцінці стійкості масиву, який розробляється, чи формується в процесі складування, є постійною, та підходи до її розв'язання розглянуті в багатьох роботах.

В роботі [85] розроблено метод розрахунку стійкості зовнішніх відвалів, який передбачає врахування неоднорідності розкритих порід і слабкої основи відвалу, що досягається використанням удосконаленої методики визначення форми поверхні сковазання.

Більшість з існуючих методів розрахунку стійкості схилів розроблено для обчислення коефіцієнта стійкості схилу [1, 17, 22, 98, 99, 100] засновано на співвідношенні утримуючих та зрушуючих сил з детермінованим або стохастичним [97] підходами.

Метод кінцевих елементів (МКЕ) в даний час є одним з найбільш ефективних методів розрахунку напружено-деформованого стану у різних задачах механіки деформованого твердого тіла та гірських порід зокрема [88, 89]. Промислові комерційні комплекси з використанням методу кінцевих елементів складають значний список (GEO, SLOPE, PLAXIS, ADVENTURE, GEOFEM, ANSYS, ADINA, ABAQUS, ALGOR, COSMOS, FINEL, NASTRAN, MARC, ПИОНЕР, ЛИРА та ін.). Також більшість дослідницьких організацій веде розробку власних програмних продуктів [87].

В роботі [10] викладені методичні підходи до створення карт стійкості бортів та уступів ділянок кар'єрів на основі обчислення у системі K-MINE коефіцієнтів стійкості за результатами аналізу масивів даних про властивості порід та параметрів відпрацювання.

Принцип створення карт стійкості бортів на основі інтегрального показника стійкості з урахуванням множини факторів розроблено в роботі [69].

Вплив гідравлічної складової, зокрема вплив зміни вологості осадових порід та їх властивостей міцності, на загальну стійкість схилів та укосів дослі-

джувався в роботах [33, 34, 81, 86], розглядаючись як ключовий фактор зсуво-небезпечності схилів.

Незважаючи на значну кількість досліджень, спрямованих на стабілізацію гідродинамічного режиму і підтримання гідрогеомеханічно стійкого стану порушених породних масивів, проблема забезпечення їх стійкості як у бортах кар'єрів (при відпрацюванні залізорудних покладів), так і в межах відвалів розкритих порід та прилеглих територій, залишається не до кінця вирішеною.

У багатьох випадках це пов'язано з недоврахуванням механізму формування гідродинамічного стану природно-техногенних породних масивів, що відбувається в умовах складної взаємодії елементів геологічного середовища та об'єктів гірничої промисловості під впливом техногенного водообміну.

1.4 Обґрунтування мети, задач та методів досліджень

В основі прийняття ефективних інженерних рішень з управління гідрогеодинамікою порушених гірничими роботами територій має бути чітке уявлення про умови, процеси і фактори, що впливають на формування природно-техногенного режиму залізорудних родовищ. Техногенний режим підземних вод в зоні впливу гірничих робіт формується головним чином під дією кар'єрного водовідливу та геомеханічних зрушень породного масиву [4, 27, 71, 77, 84]. Тому розглядати його необхідно з використанням комплексного підходу з урахуванням взаємозв'язку та взаємообумовленості геофільтраційних та геомеханічних процесів.

В зв'язку з цим метою досліджень є визначення параметрів геотехнічної стійкості породних масивів, що знаходяться в зоні впливу техногенного водообміну підприємств гірничорудного комплексу, і обґрунтування на цій основі ефективних заходів щодо їх інженерного захисту.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідне вирішення наступних задач:

- виконати аналіз геолого-гідрологічних та гірничотехнічних умов формування гідродинамічних і геомеханічних процесів в зоні впливу об'єктів гірничої промисловості;

- розробити і параметризувати чисельні геофільтраційні і геомеханічні моделі з урахуванням особливостей техногенного водообміну гірничорудного комплексу;

- встановити закономірності розвитку зсувних процесів в природно-техногенних породних масивах під впливом порушеного водообміну об'єктів гірничого виробництва.

- обґрунтувати технологічні параметри та рекомендації щодо управління гідрогомеханічним станом масивів в зоні техногенного впливу гірничорудних підприємств.

Зважаючи на складність досліджуваних природно-технічних систем та процесів, що в них протікають, для вирішення поставлених в дисертаційній роботі задач в роботі використані методи теоретичного аналізу факторів і умов формування складових техногенного водообміну, методи математичної статистики та геоструктурного аналізу, аналізу даних геофізичних досліджень шаруватих породних масивів у складі електротомографії і аудіомагнітотелуричних зондувань, методи математичного моделювання гідродинамічних і геомеханічних процесів із застосуванням чисельних планово-просторових і профільних геофільтраційних і геомеханічних моделей.

1.5 Висновки

На основі аналізу даних щодо геолого-гідрологічних та гірничо-геологічних умов досліджуваної території встановлені основні фактори, що визначають формування гідродинамічного режиму підземних вод при відпрацюванні залізорудних покладів кар'єром ПРАТ «ІНГЗК» та впливають на гідрогомеханічний стан порушених гірничими роботами породних масивів.

Характерною особливістю розподілу водопритоків в межах східного борту кар'єру та його північної ділянки є їх приналежність до ділянок з пониженнями рельєфу покрівлі київських глин до абсолютних відміток менше +20,0 м, як правило +10,0...+12,0 м.

У переважній більшості випадків прояви негативних деформаційних процесів в межах бортів кар'єру пов'язані з водопроявами в покриваючій товщі осадових відкладень в межах інтервалу залягання покрівлі київських глин палеогену. При цьому характер та просторовий розподіл водопроявів залежить від рельєфу та ухилу покрівлі водотривких глин.

Аналіз залежності величин водопритоків від кліматичних факторів свідчить про наявність досить стійкого зв'язку кар'єрних водопритоків від кількості атмосферних опадів та їх розподілу в річному перерізі в умовах переважаючого впливу режиму р. Інгулець на формування кар'єрних водопритоків.

Встановлена залежність дозволяє розглядати формування акумулятивних вод в межах породного відвалу у якості одного з чинників, який сприяє обводненню східного борту кар'єру на ділянці його сполучення з відвалом № 3, розташованим в межах заплави р. Інгулець.

Розвитку деформаційних процесів зсувного характеру на ділянці сполучення відвалу № 3 зі східним бортом кар'єру сприяє підвищене інфільтраційне живлення на ділянці відвалу в умовах можливої низької гідравлічної проникності породного матеріалу в його основі.

До особливостей деформаційних процесів в бортах кар'єру відноситься формування значних водопритоків – до 30...50 м³/год, які супроводжують розвиток зсувних деформацій і можуть вказувати на існування в межах цих ділянок значних статичних запасів води, а також свідчити про створення умов для їх концентрованого виходу.

В умовах входження північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в поле підземних гірничих виробок шахти «Центральна» зони провалів, розривів та зрушень простежуються на глибину до абсолютних відміток –400 м. При ліквідації гірничі виробки були обвалені або засипані та в подальшому обводнені, ставши

при цьому джерелом додаткових водопритоків при відпрацюванні рудних покладів.

Вплив гірничих робіт на природні та техногенні ґрунтові масиви та їх стійкість обумовлений порушенням гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів водоносних горизонтів в межах прилеглих територій, залучених у сферу впливу гірничого виробництва. Головну роль тут відіграють гідротехнічні об'єкти, задіяні в водообміні підприємств залізорудної галузі (хвостосховища, відстійники шахтних вод, шламонакопичувачі, тощо).

Врахування гідравлічної складової при оцінці та прогнозі стійкості породних масивів досліджувалось у багатьох наукових роботах. Однак, зважаючи на складність процесів геофільтрації в порушених умовах та їх постійну зміну в часі, питання врахування гідравлічного режиму при оцінці стійкості породних масивів та її зміни в умовах техногенного впливу залишається відкритим.

В зв'язку з цим вирішення питання забезпечення стійкості природно-техногенних масивів потребує комплексного вивчення механізму формування їх гідрогео механічного стану з урахуванням особливостей техногенного режиму підземних вод та напружено-деформованого стану породних масивів, що є важливим науковим завданням при обґрунтуванні заходів щодо їх стабілізації.

З урахуванням зроблених узагальнень та висновків сформульовані мета, ідея та задачі досліджень, виконаних у дисертаційній роботі.

2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННОГО ВОДООБМІНУ НА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИЙ СТАН ПОРОДНИХ МАСИВІВ

2.1 Обґрунтування чисельних геофільтраційних моделей території розташування об'єктів гірничого виробництва

2.1.1 Математичне забезпечення геофільтраційних моделей

Дослідження гідрогеологічного режиму залізородного родовища та прилеглих територій виконано з використанням реалізованої у програмі Visual MODFLOW чисельної моделі геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням [117, 120]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (2.1)$$

де k_{xx} , k_{yy} і k_{zz} – гідравлічні провідності у напрямку координатних осей X , Y і Z ; (L/T); h – шукана функція напору (L); W – одинична витрата потоку (T⁻¹): для вхідного потоку $W > 0$, для вихідного потоку – $W < 0$; S_s – питома ємність пористого середовища (L⁻¹); t – час (T).

Рівняння (2.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідравлічних провідностей співпадають з напрямками координатних осей [13, 40, 41, 46, 116].

Для вирішення рівняння (2.1) в чисельній моделі використовується метод кінцевих різностей, для чого виконується дискретизація області фільтрації прямокутною сіткою на окремі розрахункові блоки. В межах кожного блоку існує лише одна точка, яка називається вузловою, і для якої розраховується значення напору.

Параметри сітки визначаються розмірами окремих блоків DEL_R і DEL_C . Колонки блоків нумеруються, починаючи з лівої сторони, рядки пронумеровані

починаючи з верхнього краю сітки (в плановому представленні). $DEL R_j$ – ширина блоків в колонці j . Точно також $DEL C_i$ – ширина блоків (зверху донизу в плановому представленні) в межах кожного з рядів сітки $NROW$.

Нумерація розрахункових шарів у вертикальному розрізі виконується зверху донизу.

Рівняння в кінцевих різницях для розрахункових блоків області фільтрації має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} \left(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} \left(h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m \right) + \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \left(DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k} \right) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

де $h_{i,j,k}^m$ – напір в блоці i, j, k на часовому кроці m (L); CV , CR и CC – гідравлічні провідності, або провідності в інтервалі між вузлом i, j, k і сусіднім вузлом (L²/T); $P_{i,j,k}$ – сума коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притока-відтоку в блоці (L²/T); $Q_{i,j,k}$ – сумарні значення витрат притока-відтоку (L³/T): $Q_{i,j,k} > 0,0$ – приток, $Q_{i,j,k} < 0,0$ – відтік; $SS_{i,j,k}$ – питома ємність (L⁻¹); $DEL R_j$ – ширина блоку j -ої колонки у всіх рядах (L); $DEL C_i$ – ширина блоку i -го ряду у всіх колонках (L); $THICK_{i,j,k}$ – вертикальна товщина блоку i, j, k (L); t^m – час на часовому кроці m (T).

Для визначення гідравлічної провідності між вузлами, на відміну від гідравлічної провідності в межах розрахункового блоку, використовується нижній індекс «1/2». Наприклад, $CR_{i,j+\frac{1}{2},k}$ представляє провідність між вузлами i, j, k та $i, j+1, k$.

В умовах стаціонарного потоку ємність постійна, тому права частина рів-

няння (2.2) прирівнюється до нуля.

Застосування рівняння (2.2) одночасно до всіх блоків модельованої області визначає формування системи рівнянь, рішення якої дозволяє встановити напір у вузловій точці кожного розрахункового блоку.

Для чисельного рішення рівняння (2.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
 & + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - \\
 & - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k} + \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}. \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

Це рівняння відноситься до часового кроку t , однак параметр часу опущений для спрощення наведеного виразу.

В рівнянні (2.3) $HCOF_{i,j,k}$ містить $P_{i,j,k}$ і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через перенесення доданка в ліву частину рівняння). $RHS_{i,j,k}$ містить витрату потоку Q (від'ємний знак з'являється через перенесення доданка в праву частину рівняння), і частина питомої ємності, яка помножена на значення напору на часовому кроці $t-1$.

Параметри CV , CR і CC та пов'язані зі складовою ємності параметри $HCOF$ і RHS розраховуються в одному пакеті, який називається внутрішнім пакетом потоку.

При розрахунку вертикальної провідності $VCONT$ в MODFLOW використовуються вертикальні гідравлічні провідності k_{zz} і товщини різних гідрогеологічних одиниць (розрахункових шарів) в межах блоків, а розрахунок провідності виконується за формулою:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,k,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (2.4)$$

де $VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}}$ – вертикальна провідність між верхнім та нижнім розрахунковими шарами (1/Т), $k_{i,j,k}^z$, $k_{i,j,k+1}^z$, $THICK_{i,j,k}$, $THICK_{i,j,k+1}$ – вертикальні гідравлічні провідності, (L/Т), і товщини відповідно верхнього та нижнього розрахункових шарів, (L).

В умовах нестационарного режиму фільтрації головним компонентом часової дискретизації є часовий крок. Часові кроки групуються в розрахункові періоди, причому, вихідні дані можуть змінюватися в межах кожного розрахункового періоду.

Для кожного розрахункового періоду визначається його повна довжина ($PERLEN$), число часових кроків ($NSTP$) і множник для довжини послідовних часових кроків ($TSMULT$). Таким чином, крок n -го відрізка часу – довжина часового кроку $n-1$ часу $TSMULT$ раз. Тривалість першого часового кроку Δt_1 може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left(\frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (2.5)$$

В нестационарних рішеннях тривалість окремих розрахункових періодів встановлюється у відповідності до набору часових змін розрахункових параметрів моделі і характеристик витрат.

2.1.2 Гідродинамічна схематизація порушеної гірничими роботами території залізородного родовища

При дослідженні гідродинамічного режиму підземних вод в межах східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» границі модельованої області встановлені відповідно до положення контурів дренавання, існуючого русла р. Інгулець і протифільтраційної завіси та можливості виконання прогнозних рішень для етапів розвитку гірничих робіт. При визначенні розмірів модельованої області до уваги приймалась необхідність дослідження закономірностей формування

кар'єрних водопритоків на ділянці розташування породного відвалу № 3.

Розміри модельованої області визначені в межах території 4600 x 2400 м відповідно у меридіональному та широтному напрямках при загальній площі моделі 11,0 км² (рис. 2.1).

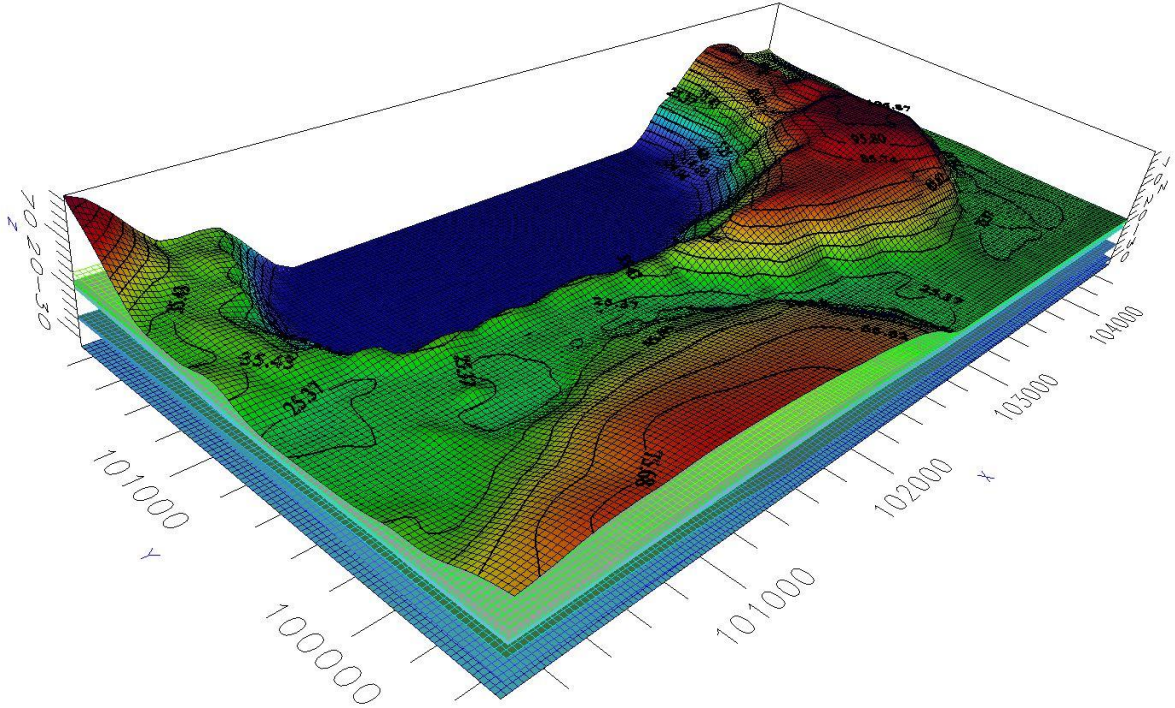


Рисунок 2.1 – Просторове представлення структури модельованої області в межах східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

Для детального відображення конфігурації існуючого русла р. Інгулець, контуру північно-східного борту кар'єру та ПФЗ, гіпсометрії поверхонь породних шарів і рівнів води в алювіальному горизонті, модельована область представлена сіткою розрахункових блоків розмірами 25,0 x 25,0 м [105, 106, 122].

Структура моделі відповідно до наявності складованих у відвал № 3 порід, геолого-літологічної будови водовмісних відкладень алювіального водоносного горизонту, в підшві яких залягають водотривкі глини київського ярусу та відклади бучацького ярусу, представлена восьмишаровою товщею. Її нижнім шаром є тріщинувата зона рудовмісного кристалічного масиву (рис. 2.2, 2.3).

У відповідності до прийнятої структури водовмісні різності порід та розділяючі їх слабопроникні шари представлені наступним чином:

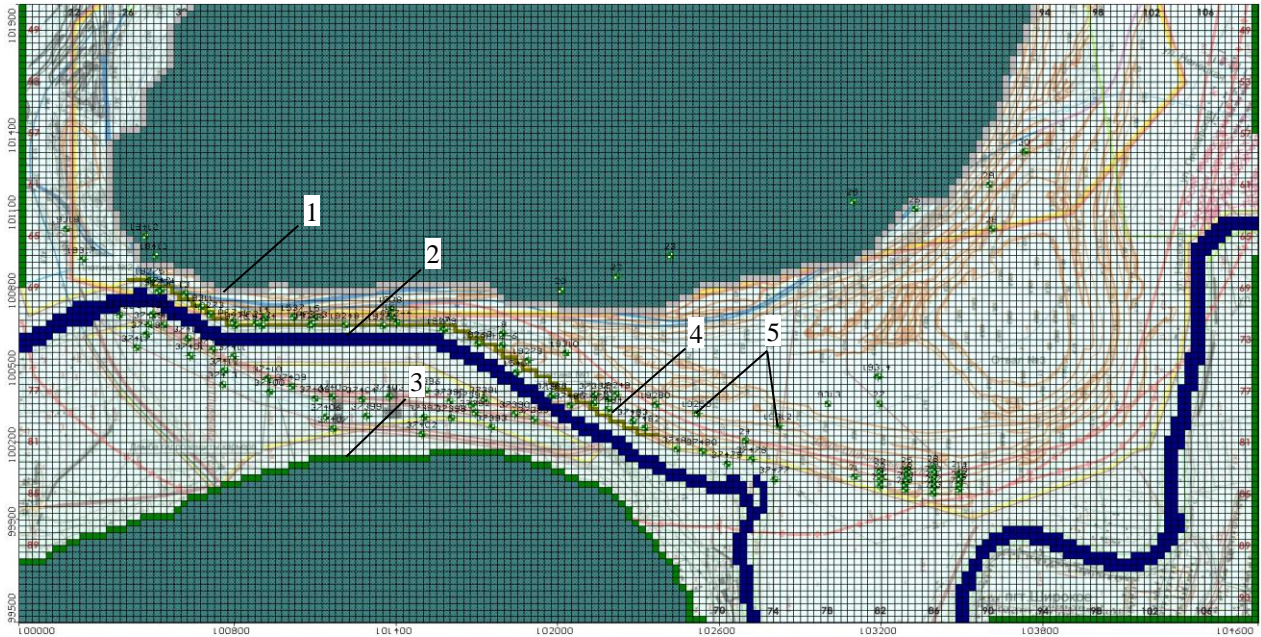
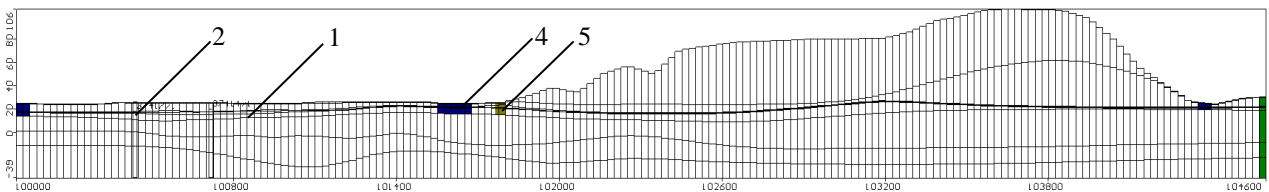
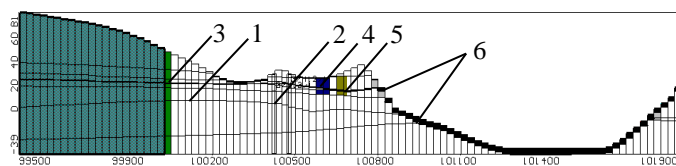


Рисунок 2.2 – Кінцево-різницева дискретизація модельованої області: 1 – контур східного борту кар'єру; 2 – русло р. Інгулець; 3 – зовнішні гідродинамічні границі з граничною умовою третього роду; 4 – ПФЗ; 5 – розвідувальні (ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ») і спостережні (ПРАТ «ІНГЗК») свердловини

а)



б)



в)

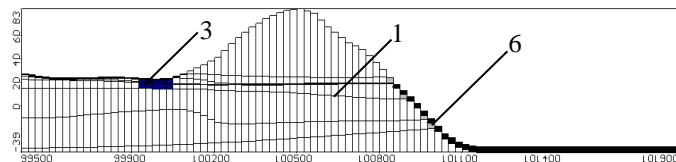


Рисунок 2.3 – Структура модельованої області у вертикальному розрізі, а – меридіональний, б, в – широтний напрямок: 1 – границі розрахункових шарів; 2 – розвідувальні та спостережні свердловини; 3, 4 – зовнішні і внутрішні гідродинамічні границі; 5 – ПФЗ; 6 – контури дренажування в межах східного борту кар'єру

При відтворенні структури модельованої області використані дані інженерно-геологічних вишукувань ДП «ДП КРИВБАСПРОЕКТ», виконані у різні роки в межах східного борту кар'єру, буріння спостережних гідрогеологічних свердловин ПРАТ «ІНГЗК» по трасі існуючої ПФЗ, а також дані виконаних у різні роки досліджень.

Положення границь модельованих шарів у вертикальному розрізі уточнено за результатами аналізу наявних даних щодо залягання покрівлі алевритових глин та вирішення зворотних геофільтраційних задач. Так, за даними геологічної служби ПРАТ «ІНГЗК» положення покрівлі глин кийвського ярусу палеогену на північно-східній ділянці борту кар'єру змінюється від +6,0 м в межах м.о. 62...72 м до +12,0 м – в межах м.о. 60...62 м і 72...76 м, що відповідає характеру водопроявів на цих ділянках.

В якості гідродинамічних границь на зовнішніх контурах моделі прийняті віддалені границі із забезпеченим живленням, які відповідають границям третього роду ($Q = f(H)$) згідно з гідродинамічною схемою досліджуваної території (див. рис. 2.2 і 2.3).

Величини гідравлічних напорів на контурах моделі встановлені за даними розвідувального буріння відповідно до відміток рівнів води в межах досліджуваних ділянок, що пов'язано з визначальним впливом на її гідродинамічний режим особливостей геоморфологічної будови. Величини водопровідностей на зовнішніх контурах визначені виходячи з осереднених значень фільтраційних характеристик порід у межах модельованої області (табл. 2.1).

На ділянках відсутності притоку/відтоку на контурах модельованої області у відповідності до напрямку потоку підземних вод задавались контури з граничною умовою другого роду ($Q = 0$).

Внутрішньою гідродинамічною границею моделі є р. Інгулець. В межах досліджуваної території р. Інгулець має абсолютні відмітки водної поверхні 22,05...22,50 м, її ширина змінюється від 50,0 до 75,0 м, складаючи в середньому 60,0 м, глибина – від 1,6 до 2,0 м, досягаючи на окремих ділянках 2,5 м.

Таблиця 2.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах
розрахункових шарів модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м ² /добу
Шар 1 – відвальні породи	22,00...38,60	0,625...87,28
Шар 2 – суглинки і супіски	22,00...38,60	0,43...84,87
Шар 3 – піски мілкі	22,00...38,60	0,525...12,3
Шар 4 – глини піщанисті	22,00...38,60	0,000625...0,0036
Шар 5 – піски різнозернисті	22,00...38,60	7,14...102,46
Шар 6 – глини алевритові	22,00...38,60	$3,6 \cdot 10^{-5} \dots 3,5 \cdot 10^{-4}$
Шар 7 – глини вуглисті	22,00...38,60	0,002...0,025
Шар 8 – сланці вивітрілі	22,00...38,60	0,0002...0,0041

Гідродинамічно р. Інгулець в чисельній моделі представлена границею третього роду, яка враховує взаємозв'язок поверхневих і підземних вод, що визначається водопровідністю підруслових відкладень. Параметри водопровідності підруслових відкладень в межах розрахункових блоків моделі задані у відповідності до фільтраційних характеристик алювіальних відкладень річкового ложа (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Параметри внутрішніх гідродинамічних границь
модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підшови підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м ² /добу
Річка Інгулець			
- м.о. 18...24	22,05	19,40	437,5
- м.о. 24...34	22,05	20,45	437,5
- м.о. 34...50	22,10	20,60	0,625...4312,5
- м.о. 50...60	22,15	20,65	0,000625...4312,5
- м.о. 60...72	22,20	20,70	4312,5
- м.о. 72...74	22,25	20,75	4312,5
- м.о. 88...92	22,40	20,90	4312,5
- м.о. 92...104	22,45	20,95	4312,5
- м.о. 104...110	22,50	21,00	0,000625...4312,5

Контур дренавання алювіальних відкладень в межах східного борту діючого кар'єру визначається положенням поверхні підшови різнозернистих пісків, що залягають на глинах кийвського ярусу палеогену і розкриваються бортом кар'єру.

Згідно до положення контуру дренавання, який знаходиться на відстані від 75...125 м до 750 м відповідно в нижній і верхній течії р. Інгулець верхні відмітки інтервалу дренавання встановлені рівними 6,5...26,3 м, що відповідає перевищенню абсолютних відміток підшови алювіальних пісків на величину 0,9...1,0 м.

Робота ПФЗ моделювалась завданням на відстані 25...50 м від західного урізу р. Інгулець слабопроникної «стінки», заглибленої вздовж всієї її довжини до покрівлі алевритових глин (розрахунковий шар 6). У відповідності з проектними параметрами ПФЗ її ширина встановлена рівною 0,7 м при значенні коефіцієнта фільтрації матеріалу зависи 0,05 м/добу.

При оцінці параметрів гідравлічної провідності для розрахункових шарів використані дані вишукувань, виконані інститутом ВІОГЕМ. Для літологічних різностей, що складають алювіальний водоносний горизонт, величини коефіцієнтів фільтрації характеризуються наступними значеннями: суглинки піщаністі – 0,66 м/добу; лесовидні суглинки – 0,77 м/добу; піски пилюваті і дрібнозернисті – 0,84 м/добу; супіски карбонатні – 0,8...1,16 м/добу; пісок глинистий – 0,8...7,4 м/добу; пісок дрібно- і крупнозернистий – 6,9...19,2 м/добу.

Прийняті до розрахунку значення гідравлічних провідностей, які встановлені у відповідності до структури чисельної моделі і уточнені за результатами вирішення зворотних задач, наведені в таблиці 2.3.

Крім того, зважаючи на наявність в основі породного відвалу ущільненої слабопроникної товщі ґрунтів, безпосередньо в контурах відвалу в межах розрахункових шарів 2...3 задано знижене до 0,001 м/добу значення гідравлічної проникності.

Таблиця 2.3 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, K ($K_X = K_Y = K_Z$), м/добу	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі μ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, μ^* , дол. од.
Шар 1 – відвальні породи	0,5...0,7	0,10	0,0001
Шар 2 – суглинки і супіски	0,001...0,7	0,10	0,0001
Шар 3 – піски дрібні	0,001...0,84	0,15	0,00001
Шар 4 – глини піщанисті	0,001	0,02	0,00001
Шар 5 – піски різнозернисті	6,9...13,0	0,20	0,00001
Шар 6 – глини алевритові	0,00001	0,01	0,00001
Шар 7 – глини вуглисті	0,0005	0,01	0,00001
Шар 8 – сланці вивітрілі	0,00005	0,01	0,00001

При визначенні інфільтраційного живлення до уваги прийняті дані досліджень [6, 20], виконаних на балансових станціях Причорноморського артезіанського басейну. Згідно цим даних величина поповнення ґрунтових вод Причорномор'я, які містяться у лесовидних суглинках, змінюється від 3 до 60 мм/рік, а відповідна їй величина інфільтрації в межах оцінюваного району коливається від 13 до 42 мм/рік.

На ділянці розташування відвалу № 3, складеного окисленими та напівокисленими джеспілітами і скельними розкритими породами, величина інфільтраційного живлення прийнята рівною 50 мм/рік – з урахуванням додаткового живлення згідно рекомендацій [65] для промислових територій гірничо-металургійного комплексу.

Адекватність відображення чисельною моделлю існуючих гідрогеологічних умов оцінена за відповідністю результатів моделювання прийнятій гідродинамічній схемі, збіжністю розрахункового положення рівнів підземних вод до фактично встановленого їх положення, нев'язкою балансових складових.

Розрахункова поверхня підземних вод алювіального водоносного горизонту в межах досліджуваної території у відповідності до виконаної гідродинамічної схематизації на період інженерних вишукувань представлена на рис. 2.4, 2.5 і 2.6.



Рисунок 2.4 – Карта розрахункового положення рівневої поверхні обводненої зони породного відвалу № 3 станом на квітень-травень 2015 р. – епігноз, нестаціонарний режим фільтрації, м: 1 – існуюче положення русла р. Інгулець; 2 – ПФЗ; 3 – напрямок фільтраційного потоку; 4 – зона обводнення

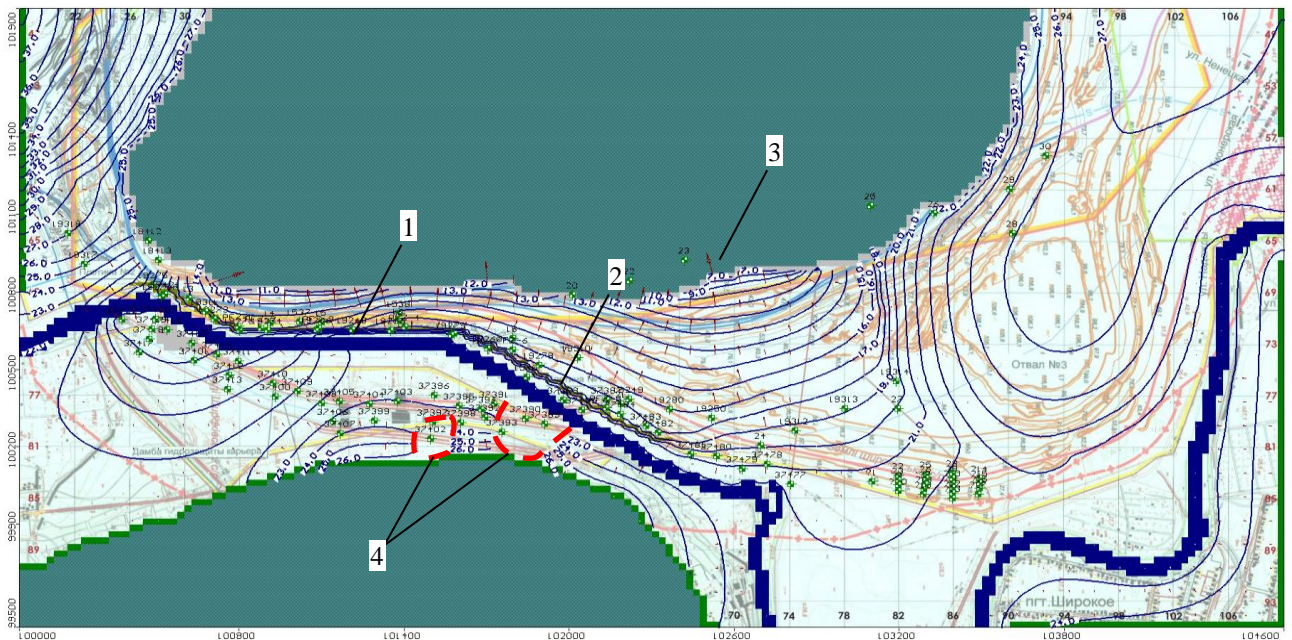


Рисунок 2.5 – Карта розрахункового положення рівневої поверхні підземних вод алювіального горизонту станом на квітень-травень 2015 р. – епігноз, нестаціонарний режим фільтрації, м: 1 – існуюче положення русла р. Інгулець; 2 – ПФЗ; 3 – напрямок фільтраційного потоку; 4 – зони осушення

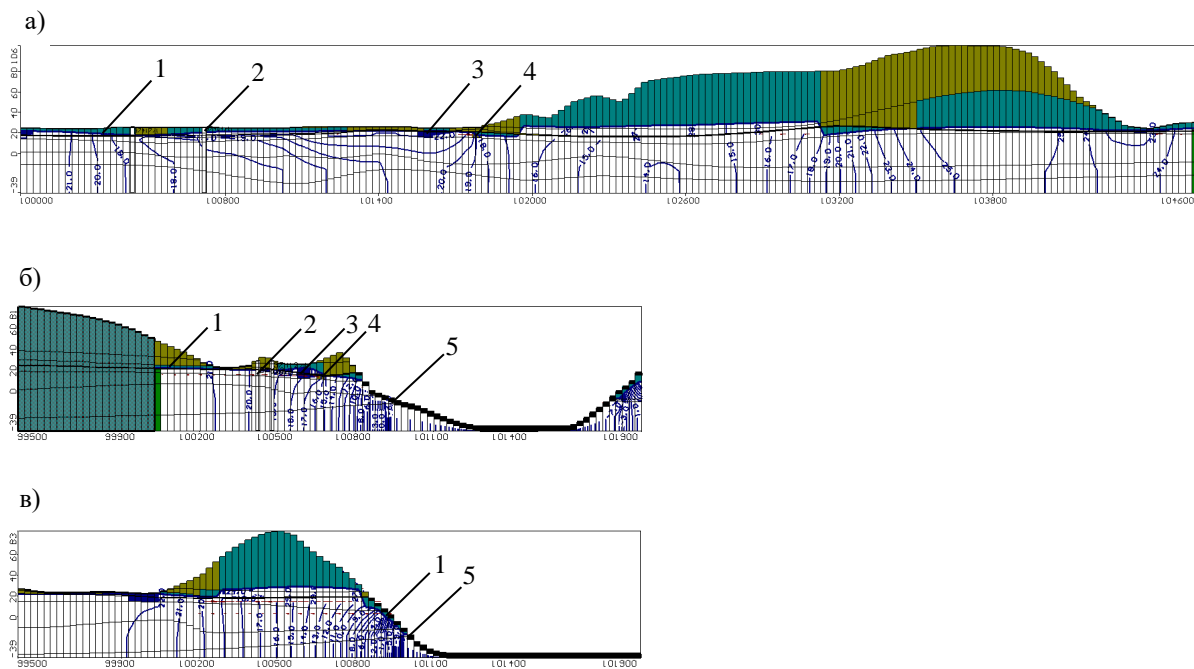


Рисунок 2.6 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території станом квітень-травень 2015 р., а – меридіональний, б, в – широтний напрямки: 1 – рівнева поверхня; 2 – розвідувальні свердловини ДП «ДПІ КРИВБАСПРОЕКТ»; 3 – існуюче положення русла р. Інгулець; 4 – ПФЗ; 5 – контур дренавання в межах східного борту кар'єру

Згідно результатам розрахунків формування гідродинамічного режиму алювіального горизонту на досліджуваній території відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, бокового притоку з боку вододільних ділянок і надходження фільтраційних вод з р. Інгулець, а розвантаження – шляхом дренавання водопроникних порід на контурі їх розкриття східним бортом кар'єру (табл. 2.4). При цьому в живленні алювіального горизонту, який знаходиться в зоні дренаючого впливу кар'єру, переважає приток із р. Інгулець.

Згідно з даними калібрування, виконаного за результатами рішення епігностної задачі, відхилення розрахункових відміток рівнів води в алювіальному горизонті від фактично встановлених не перевищує 1,364 м (рис. 2.7). Встановлена за результатами виконаних розрахунків стандартна похибка оцінки складає 0,126 м. Значущість статистичних оцінок характеризується значенням $R^2=0,737$ м і її нормованою величиною 8,126 %.

Таблиця 2.4 – Балансові складові модельованої області за результатами вирішення епігнозної задачі, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	363,171	-
Взаємозв'язок з річкою	2245,380	-1249,115
Витрати по контуру	1710,860	-38,366
Ємнісна складова	22,404	-0,688
Приток до кар'єру - у тому числі м.о. 26...90	- -	-3053,924 -2374,918
Всього	4341,815	-4342,093
Похибка		-0,278
Нев'язка, %		-0,010

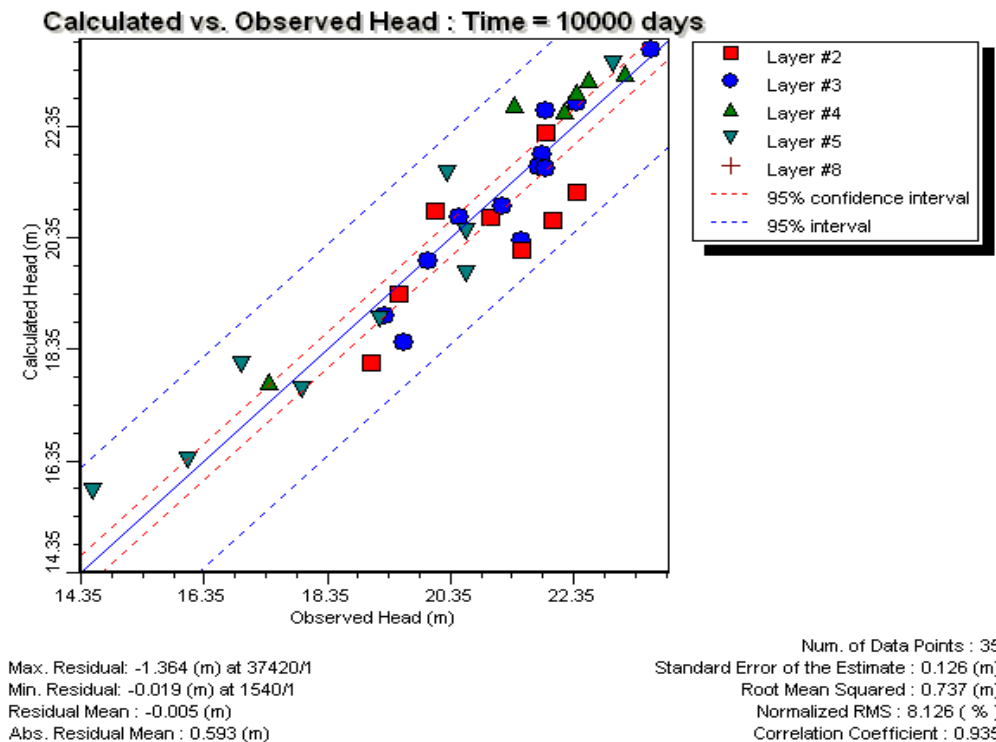


Рисунок 2.7 – Результати калібрування моделі станом на квітень-травень 2015 р. – епігноз, нестационарний режими фільтрації

Стосовно до умов, що розглядаються, наведені оцінки свідчать про задовільну збіжність результатів моделювання, враховуючи існуючу фільтраційну неоднорідність алювіального горизонту та невитриманий характер просторового залягання водовмісних та розділяючих їх водотривких шарів.

Загальні підходи, використані при розробці геофільтраційної моделі східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК», розвинені в чисельній моделі Інгулецького родовища, розробка якої виконана у зв'язку вирішенням задач оцінки впливу техногенного водообміну на гідрогеомеханічний стан породних масивів.

Геофільтраційна модель Інгулецького родовища охоплює територію, обмежену з півдня контуром діючого кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» і розташованим в б. Скелевата породним відвалом № 1, з півночі – б. Візирка, зі сходу і заходу – відповідно лівим корінним схилом долини р. Інгулець та вододільним плато в її правобережжі (рис. 2.8).

Структура моделі відповідно до геологічної будови території і характеру залягання водоносних горизонтів приведена до багатошарової водовмісної товщі зі слабопроникними розділяючими шарами в межах осадової товщі і порушеного гірничими роботами кристалічного масиву (рис. 2.9). У якості нижньої границі моделі з урахуванням досягнутої глибини ведення гірничих робіт в кар'єрі прийнята умовна поверхня в непорушеному кристалічному масиві на абсолютній відмітці –400,0 м.

Верхня частина модельованої товщі в чисельній моделі представлена осадовими відкладеннями четвертинного і неоген-палеогенового віку (розрахункові шари 1...5), що залягають на еродованій поверхні кори вивітрювання кристалічних порід (розрахунковий шар 6), а її нижня частина – гранітами і мігматитами рудовмісного масиву, який містить зони провалів, тріщин і зрушень від підземних гірничих виробок залізорудних шахт на ділянці північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

В межах розрахункового шару 3 в заплаві р. Інгулець виділена зона алювіальних відкладень, яка в чисельній моделі є продовженням шару сарматських відкладів.

У якості гідродинамічних границь на зовнішніх контурах моделі прийняті віддалені контури із забезпеченим живленням ($Q = f(H)$), встановлені відповідно до загальної гідродинамічної схеми досліджуваної території (див. рис. 2.2).

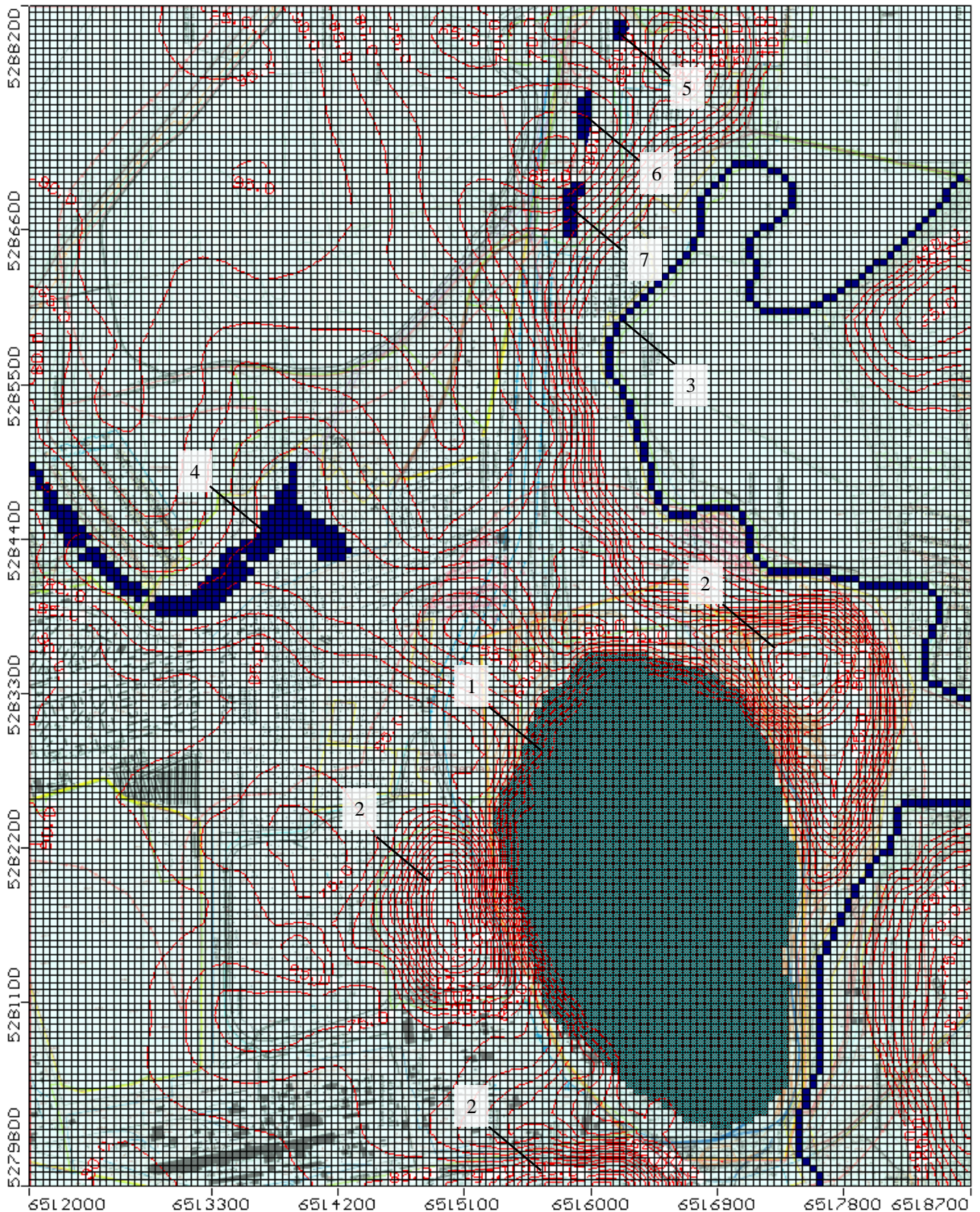


Рисунок 2.8 – Кінцево-різницева схематизація модельованої області: 1 – діючий кар’єр ПРАТ «ІНГЗК»; 2 – породні відвали № 1, 2 та 3; 3 – р. Інгулець; 4 – ставки у балці Березнегувата; 5, 6, 7 – водойми у відпрацьованих кар’єрах «Візирка-Північний», «Візирка-Центральний» і «Візирка-Південний»

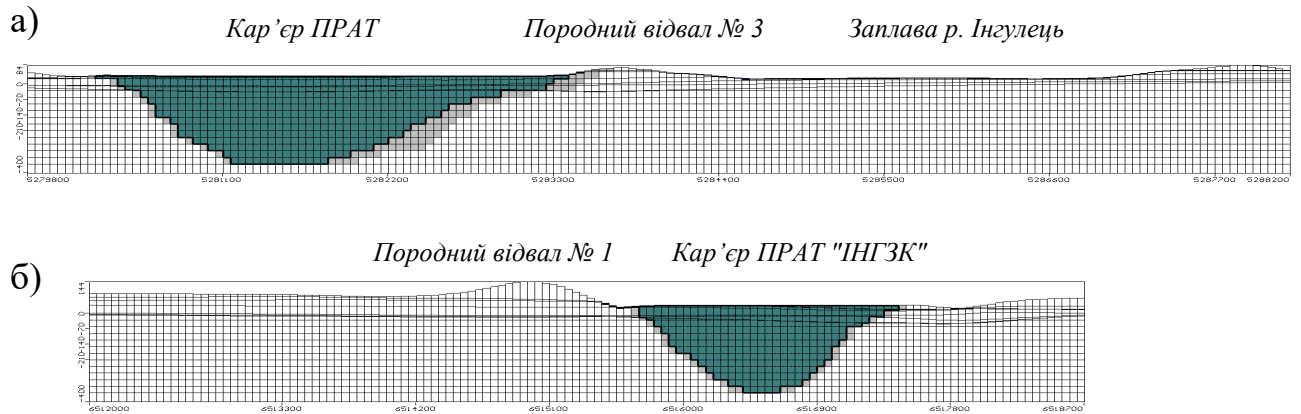


Рисунок 2.9 – Структура модельованої області у вертикальному перерізі – меридіональний (а) і широтний (б) напрямки

Величини напорів на контурах моделі для водоносних горизонтів водовмісної товщі прийняті відповідно до усереднених значень відміток рівнів води і напорів в межах модельованої області, що пов'язано з визначальним впливом на їх гідродинамічний режим особливостей геоморфологічної будови і розчленованості рельєфу. Водопровідність на зовнішніх контурах розрахункових шарів визначена з усереднених значень їх фільтраційних провідностей (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Параметри гідродинамічних границь на контурах модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м ² /добу
Шар 1	70,0...80,0	0,025...0,494
Шар 2	70,0...80,0	0,057...0,122
Шар 3	60,0	15,896...23,015
Шар 4	48,0...60,0	0,000005...0,000189
Шар 5	48,0	0,146...1,673
Шар 6	48,0	0,050...0,362
Шари 7...9	48,0	0,12...0,60
Шари 10...19	48,0	0,30

З огляду на загальний характер фільтраційного потоку в межах розрахункових шарів, а також положення вододільних ділянок в межах модельованої

області, на її зовнішніх північній і південній границях задана умова, що відповідає відсутності бічного притоку $Q = 0$.

Внутрішніми гідродинамічними границями моделі є р. Інгулець, балки Скелевата, Березнегувата і Візирка з розташованими на них ставками і водоймами у відпрацьованих кар'єрах «Візирка-Північний», «Візирка-Центральний» і «Візирка-Південний» (рис. 2.10).

Річка Інгулець представлена границею третього роду $Q = f(H)$, що враховує взаємозв'язок поверхневих і підземних вод при заданих параметрах гідравлічної провідності підруслових відкладень. Параметри провідності підруслових відкладень встановлені відповідно до фільтраційних характеристик алювіальних відкладень (табл. 2.6.).

Внутрішні гідродинамічні границі, якими є система ставків в балках Скелевата і Березнегувата, а також водойми на ділянках відпрацьованих кар'єрів в балці Візирка, задані аналогічно р. Інгулець граничними умовами третього роду з гідравлічними параметрами ложа водойм на ділянках їх розташування, встановленими згідно з картографічними даними.

Таблиця 2.6 – Параметри внутрішніх гідродинамічних границь

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня води, м	Абсолютні відмітки подошви підруслових відкладень, м	Провідність підруслових відкладень, м ² /добу
р. Інгулець	22,05...22,90	20,45...21,40	25,0
Ставки у балці Березнегувата	66,70...74,30	64,70...72,30	25,0
Водойми у балці Візирка:			
- «Візирка-Північний»	33,60	-10,0	50,0
- «Візирка-Центральний»	32,10	-10,0	50,0
- «Візирка-Південний»	28,40	-10,0	50,0

Параметри водопровідності, що визначають гідравлічний взаємозв'язок поверхневих і підземних вод, оцінювалися за результатами розв'язання обернених задач у нестационарній постановці.

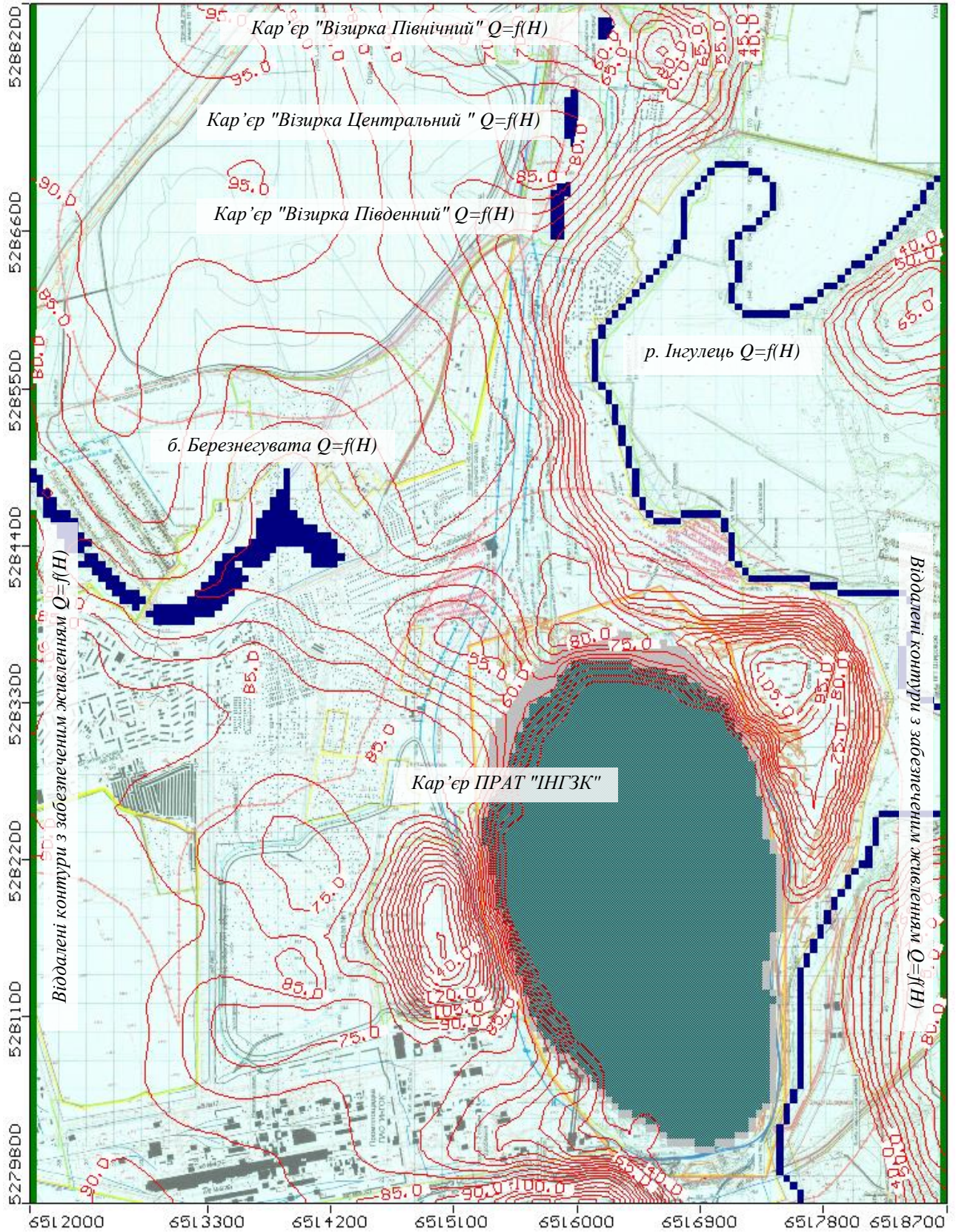


Рисунок 2.10 – Розрахункова гідродинамічна схематизація моделюваної області

Фільтраційні параметри розрахункових шарів задані згідно з даними досліджень, виконаних на різних стадіях розвідки родовища та інженерних вишукувань для будівництва об'єктів гірничопромислового комплексу (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, k ($k_x = k_y / k_z$), м/добу	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, μ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, μ^* , дол. од.
Шар 1	0,1...0,2/0,1...0,2	0,10	0,0001
Шар 2	0,01...0,02/0,01...0,02	0,07	0,0001
Шар 3	2,0...7,0/2,0...7,0	0,10...0,15	0,0001
Шар 4	0,0001...0,00001/ 0,0001...0,00001	0,01	0,00001
Шар 5	0,2...0,4/0,2...0,4	0,10	0,0001
Шар 6	0,1...60,0/0,1...60,0	0,05...0,20	0,00001...0,0001
Шари 7...9	0,02...60,0/0,02...60,0	0,01...0,20	0,00001...0,0001
Шари 10...19	0,01...60,0/0,01...60,0	0,01...0,20	0,00001...0,0001

При відсутності вираженої зональності гідравлічних характеристик в межах окремих розрахункових шарів їх величини були задані осередненими значеннями в межах всієї площі поширення водовмісних відкладень, за виключенням ділянок розвитку алювіальних відкладень та зон зрушень від підземних гірничих виробок (рис. 2.11, 2.12 і 2.13).

Прийняті значення розрахункових гідравлічних характеристик і параметри гідродинамічних границь модельованої області в подальшому оцінювалися за результатами вирішення обернених задач у нестационарній постановці.

Інфільтраційне живлення за площею моделі встановлено рівним 13,0...20,4 мм/рік, що становить величину близько 2,5...3,0 % від загальної кількості атмосферних опадів, рівної за даними Криворізької ДГП «УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГІЯ» за 2018 р. 423,0 мм/рік (в 2015 р. – 531,4 мм/рік, 2016 р. – 663,7 мм/рік, 2017 р. – 401,8 мм/рік) при середній багаторічній нормі 420 мм/рік.

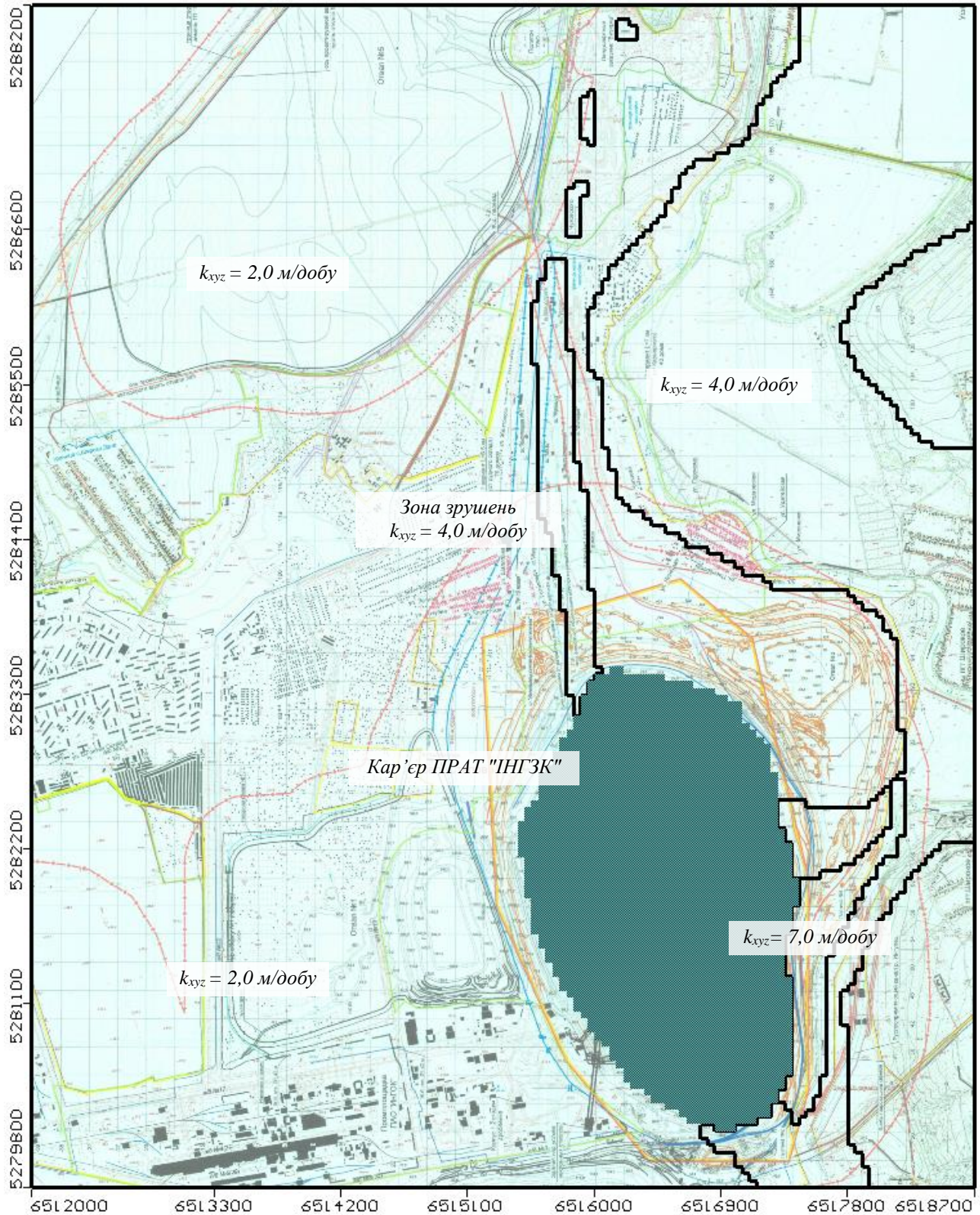


Рисунок 2.11 – Зональність гідродинамічних характеристик в межах осадової товщі – розрахунковий шар 3

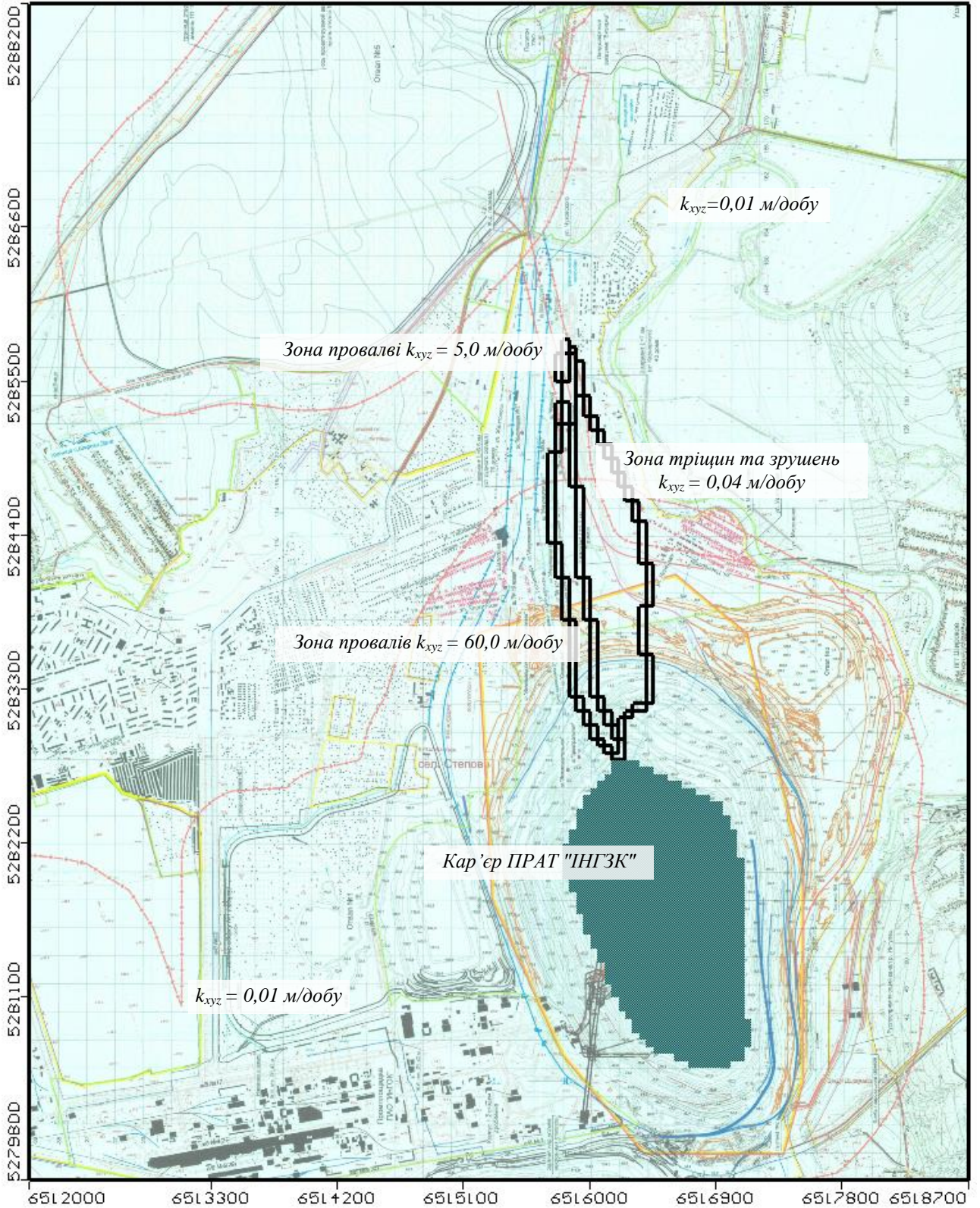


Рисунок 2.12 – Зональність гідродинамічних характеристик в межах тріщинуватої зони кристалічного масиву – розрахунковий шар 10

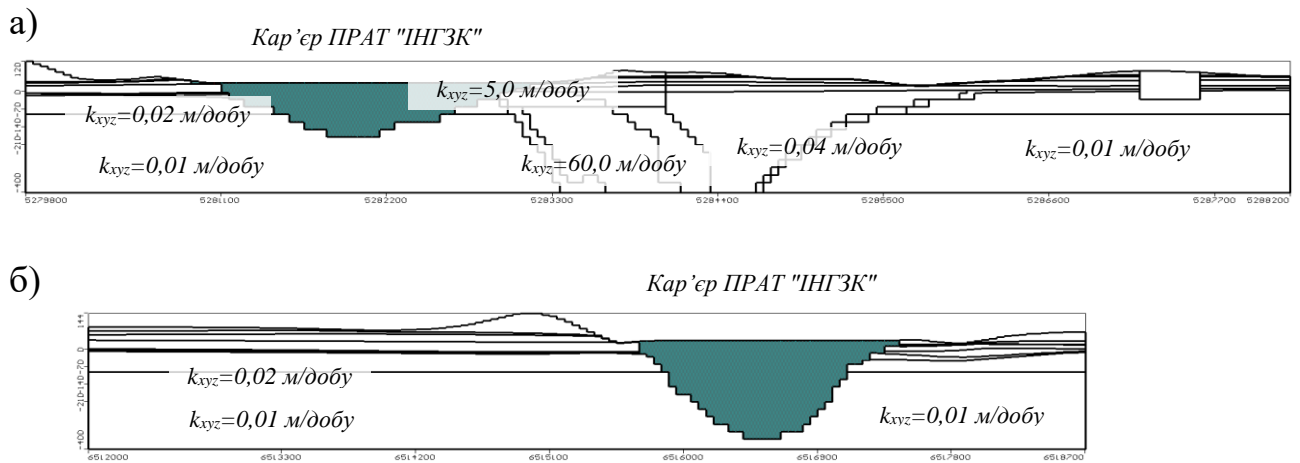


Рисунок 2.13 – Зональність гідродинамічних характеристик модельованої товщі у вертикальному перерізі – меридіональний (а) і широтний (б) напрямки

Виділення в межах досліджуваної території істотно різних за живленням ділянок не виконувалось, оскільки частка атмосферних опадів, що надходить на рівень підземних вод, в розглянутих умовах визначається різноспрямованою дією сукупності факторів – характеру рельєфу, наявності рослинності, ухилів денної поверхні, проникності порід зони аерації та ін.

Виключення становили ділянки породних відвалів №№ 1, 2 і 3, де, зважаючи на характер і структуру складованого матеріалу, значення інфільтраційного живлення, встановлене за результатами вирішення обернених задач, складало величину 80,0...125,5 мм/рік. Отримана величина погоджується з даними щодо середньорічної інтенсивності інфільтраційного живлення територій гірничо-збагачувальних комбінатів [65], за якими величина розподіленого живлення знаходиться в межах $(0,3...1,0) \cdot 10^{-3}$ м/добу.

2.2 Закономірності формування кар'єрних водопритоків на ділянці навантаженого породним відвалом борту кар'єру

Згідно результатів виконаних розрахунків формування гідродинамічного режиму алювіального горизонту на досліджуваній території відбувається за ра-

хунок інфільтрації атмосферних опадів, бокового притоку зі сторони вододільних ділянок (східна границя модельованої області) та надходження поверхневих вод із р. Інгулець, а розвантаження – шляхом витоку із водопроникних порід на контурі їх дренавання в межах східного борту кар'єру (див. табл. 2.4).

При цьому, в живленні алювіального горизонту, що знаходиться безпосередньо в зоні дренаючого впливу кар'єру, переважаюча роль належить фільтрації з р. Інгулець.

Встановлений за результатами моделювання розрахунковий водоприток на контурі розвантаження алювіального водоносного горизонту добре корелює з фактично встановленими величинами водопритоку в межах східного борту діючого залізородного кар'єру.

Згідно даним ПРАТ «ІНГЗК» сумарний водоприток до східного борту кар'єру станом на 2015 р. становив 90...120 м³/год або 2160...2880 м³/добу. Отримана за даними епігнозного моделювання з урахуванням уточненого розрізу на границі кар'єру сумарна величина дренажного водовідбору для цього контуру склала 2374,9 м³/добу або 98,9 м³/год, що свідчить про задовільну збіжність розрахункових величин з фактично встановленими за даними замірів в межах східного борту кар'єру. Враховуючи втрати крізь підшову алювіального горизонту на південній ділянці борту кар'єру на рівні 551,6 м³/добу (22,9 м³/год), сумарний розрахунковий приток до східного борту становить близько 121,8 м³/год.

Розподіл розрахункових величин водопритоків по контуру кар'єру характеризується їх відносною концентрацією в межах м.о. 30...42 (831,29 м³/добу), 50...58 (436,87 м³/добу) і 62...74 (587,28 м³/добу), положення яких співпадає з положенням понижень гіпсометрії покрівлі київських глин (табл. 2.8). Величини розрахункових водопритоків в межах виділених ділянок досягають величин 13,2 м³/год (м.о. 38...42) і 9,5...10,4 м³/год (м.о. 50...54, 66...70).

Значні водопритоки на ділянці 30...42 м.о. пов'язані з близьким розташуванням південної ділянки східного борту кар'єру до існуючого русла р. Інгулець.

Таблиця 2.8 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в м.о. 26...90

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	25,249	-	25,100	0,100
2	30...34	303,020	-	300,070	0,160
3	34...38	211,470	-	215,240	0,111
4	38...42	316,800	-	313,290	0,116
5	42...46	143,580	-	148,300	0,145
6	46...50	152,770	-	151,920	0,133
7	50...54	228,090	-	225,470	0,069
8	54...58	208,780	0,240	208,300	0,150
9	58...62	112,560	2,260	113,060	0,150
10	62...66	178,400	3,590	169,910	0,105
11	66...70	249,090	5,750	242,580	0,202
12	70...74	159,790	7,630	149,180	0,117
13	74...78	53,217	8,115	47,245	0,127
14	78...82	4,678	0,690	3,940	0,170
15	82...86	6,730	-	4,590	0,170
16	86...90	20,694	-	9,260	0,130
Разом		2374,918	28,275	2327,455	2,155

У відповідності до результатів моделювання сумарна величина водопритоків на цій ділянці складає 34,6 м³/год, що погоджується з даними спостережень за фактичними водопритоками – візуально оцінена величина водопритоків в цих же осях знаходиться в межах 33,0...56,0 м³/год.

Порівняно невисокі розрахункові величини водопритоків в межах м.о. 58...90 – 785,16 м³/добу (32,71 м³/год) пояснюються відносним віддаленням північної ділянки східного контуру кар'єру від русла р. Інгулець. Існуюча ситуація підтверджується даними фактичних спостережень – так, в межах м.о. 50...70 водоприток на кінець квітня 2015 р. не перевищував 21,30 м³/год. Встановлений на цей період водоприток зафіксований після ліквідації водопроярів на горизонті +12,0 (точка спостереження № 5, заміри 02.04.2015 р.) і зниження водопритоку на горизонті –30,0 (точка спостереження № 6, м.о. 65...70) з 68,18 до 15,36 м³/год згідно замірам відповідно 25.03.2015 р. та 02.04.2015 р.

Порівняльна оцінка розрахункових водопритоків до східного борту діючого кар'єру на різні періоди відпрацювання залізорудного родовища свідчить про пряму залежність їх величин від гіпсометричного положення підосви шару різнозернистих гравелистих пісків в межах контуру їх розкриття бортом кар'єру.

Наведене підтверджується результатами гідродинамічного моделювання, згідно яким концентрація водопритоків в м.о. 50...58 і 62...74 співпадає з положенням понижених відповідно до 10,4...12,0 м і 5,5...10,4 м абсолютних відміток підосви гравелистих пісків, що залягають на київських глинах в межах північно-східного борту кар'єру (рис. 2.14).

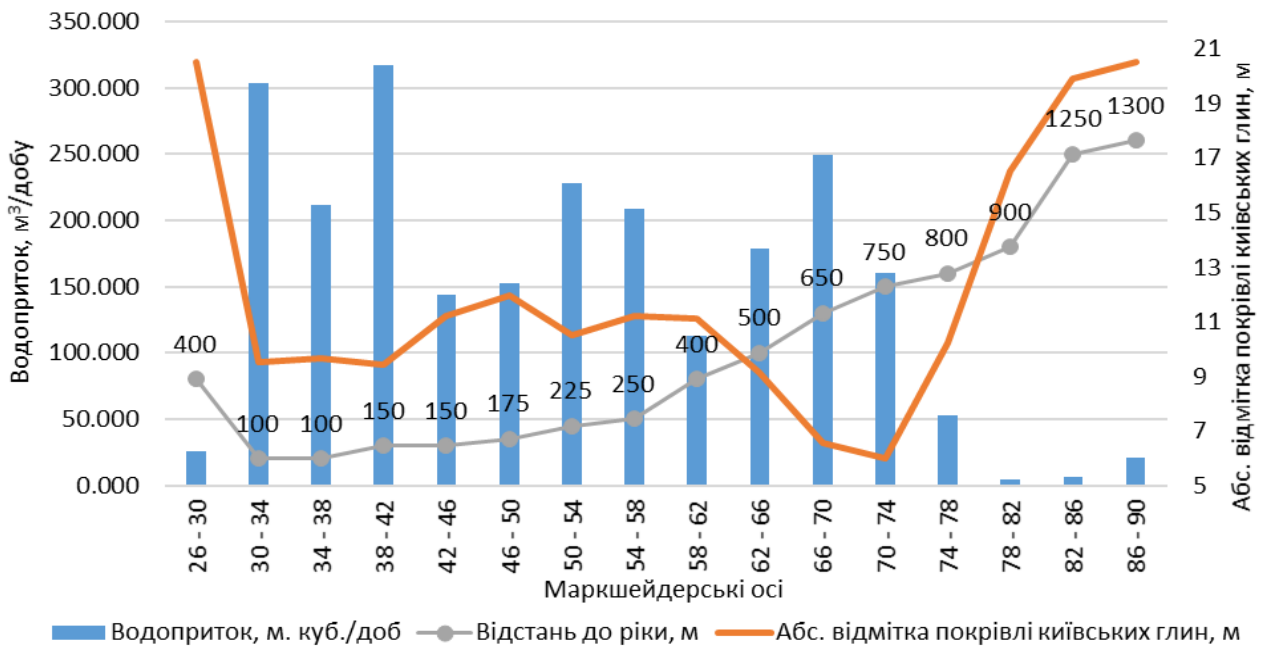


Рисунок 2.14 – Порівняльна діаграма характеру залягання покрівлі палеогенових глин, величин припливу підземних вод до кар'єру та відстані від межі кар'єру до р. Інгулець вздовж східного борту

Аналіз розподілу водопритоків в межах східного борту кар'єру дозволив встановити їх залежність від гіпсометрії підосви гравелистих пісків, які залягають на еродованій поверхні київських глин (рис. 2.15). Отримана залежність дозволяє з високим рівнем достовірності ($R^2 = 0,683$) виконувати картування

ділянок аномальних величин кар'єрних водопритоків та пов'язаних з ними порушень гідрогеомеханічного стану породних масивів.

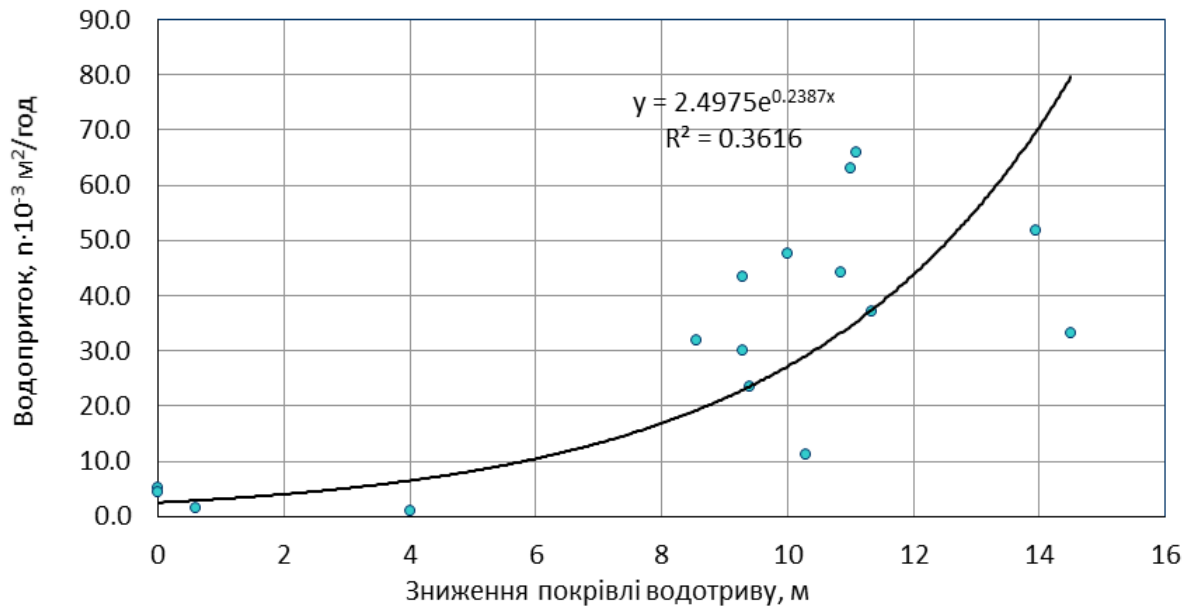


Рисунок 2.15 – Залежність величин кар'єрних водопритоків від висотного положення покрівлі водотривкого шару на ділянці східного борту кар'єру

Наявність в основі відвалу № 3 товщі ґрунтів з пониженою гідравлічною проникністю за умови підвищеного інфільтраційного живлення сприяє формуванню в нижньому інтервалі складованих порід водонасиченої зони із ухилом поверхні в південно-західному і південно-східному напрямках і абсолютними відмітками 24,1...31,4 м.

При величині інфільтраційного живлення в межах породного відвалу на рівні 50 мм/рік величини водопритоків із техногенного горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 54...82 досягають 28,27 м³/добу (1,2 м³/год).

Згідно з наведеними на рисунках 2.4 і 2.5, поверхнями ухил рівневої поверхні обводненої зони в межах відвалу № 3 має напрямок з півночі на південь зі зміною абсолютних відміток від 33,67 м до 20,18 м. Для цієї ж ділянки падіння покрівлі київських і бучацьких глин палеогену, а також кори вивітрювання кристалічних порід – південно-східне зі зміною абсолютних відміток відповідно 17,41...3,27 м, -2,44...-8,80 м і -7,54...-18,98 м.

Для оцінки відповідності характеру залягання покрівлі київських глин в основі алювіальних відкладень в межах східного борту кар'єру на ділянці розташування породного відвалу №3 виконаний комплекс геофізичних досліджень у складі електротомографії (ЕТ) та аудіомагнітотелуричних зондувань (АМТЗ)

Польові роботи методом ЕТ були виконані уздовж двох профілів загальною протяжністю 2 км з кроком 20 м до глибини 60 м.

Спостереження методом АМТЗ на відвалі № 3 виконані в 9-ти фізичних точках апаратурою MTU-5A. при виконанні досліджень реєструвалися п'ять компонент магнітотелуричного поля: дві компоненти електричного поля E_x і E_y , а також три компоненти магнітного поля H_x , H_y і H_z в частотному діапазоні від 10 до 10000 Гц.

За даними інтерпретації ЕТ на ділянці сполучення східного борту і відвалу № 3 на початку профілю +54 до пікету 480 м чітко простежується геоелектричний шар підвищеного опору потужністю 25...30 м, абсолютні позначки покрівлі якого мають порядок +30,0 м (рис. 2.16). Від пікету 480 м і далі на північ цей шар відсутній, і в розрізі спостерігаються низькоомні породи.

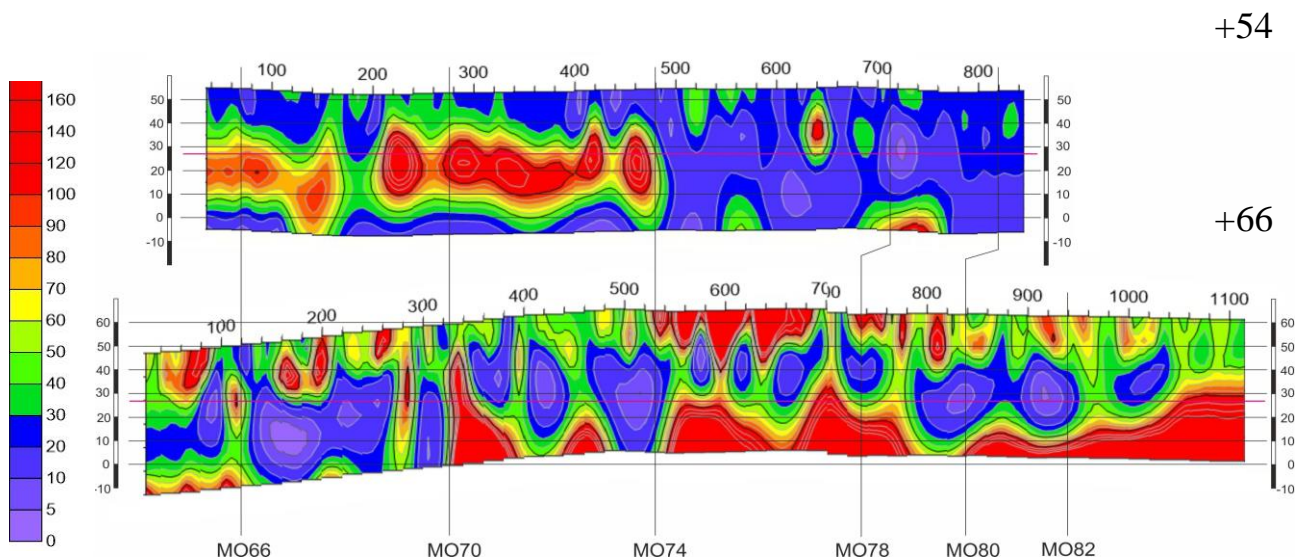


Рисунок 2.16 – Результати вирішення інверсії даних ЕТ – імовірний електричний опір, Ом·м

На профілі +66 простежується електропровідний геоелектричний гори-

зонт на глибині 15,0...20,0 м: потужність шару коливається від 20 до 30 м.

Отримані результати свідчать про наявність в основі породного відвалу шару обводнених відвальних порід, які за своїми електропровідними властивостями близькі до четвертинних глин і глин київського ярусу палеогену у їх природному заляганні.

Для одновимірної інверсії магнітотелуричних даних використана 5-ти шарова модель:

- I шар відповідає обводненим відвальним породам в основі породного відвалу і природним відкладенням під відвалом;
- II шар представлений глинами київського ярусу палеогену і є найбільш електропровідним в розрізі;
- III шар представлений вуглистими глинами бучацького ярусу палеогену;
- IV шар - кварцові піски бучацького ярусу палеогену;
- V шар відповідає корі вивітрювання кристалічних порід.

За результатами інверсії побудована серія карт покрівлі вище названих шарів, окрім бучацьких пісків (рис. 2.17 і 2.18).

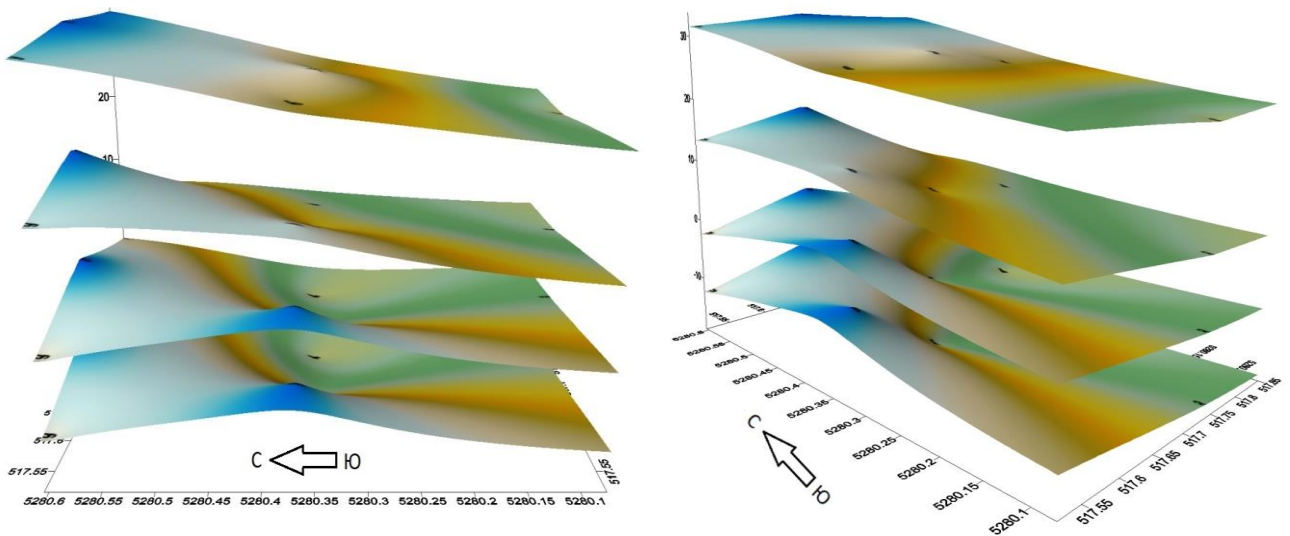


Рисунок 2.17 – Поверхні покрівлі шарів геоелектричного розрізу

Таким чином, результати інтерпретації даних польових геофізичних досліджень дають підставу вважати, що нижня частина породного відвалу № 3 знаходиться в стані, близькому до водонасиченого.

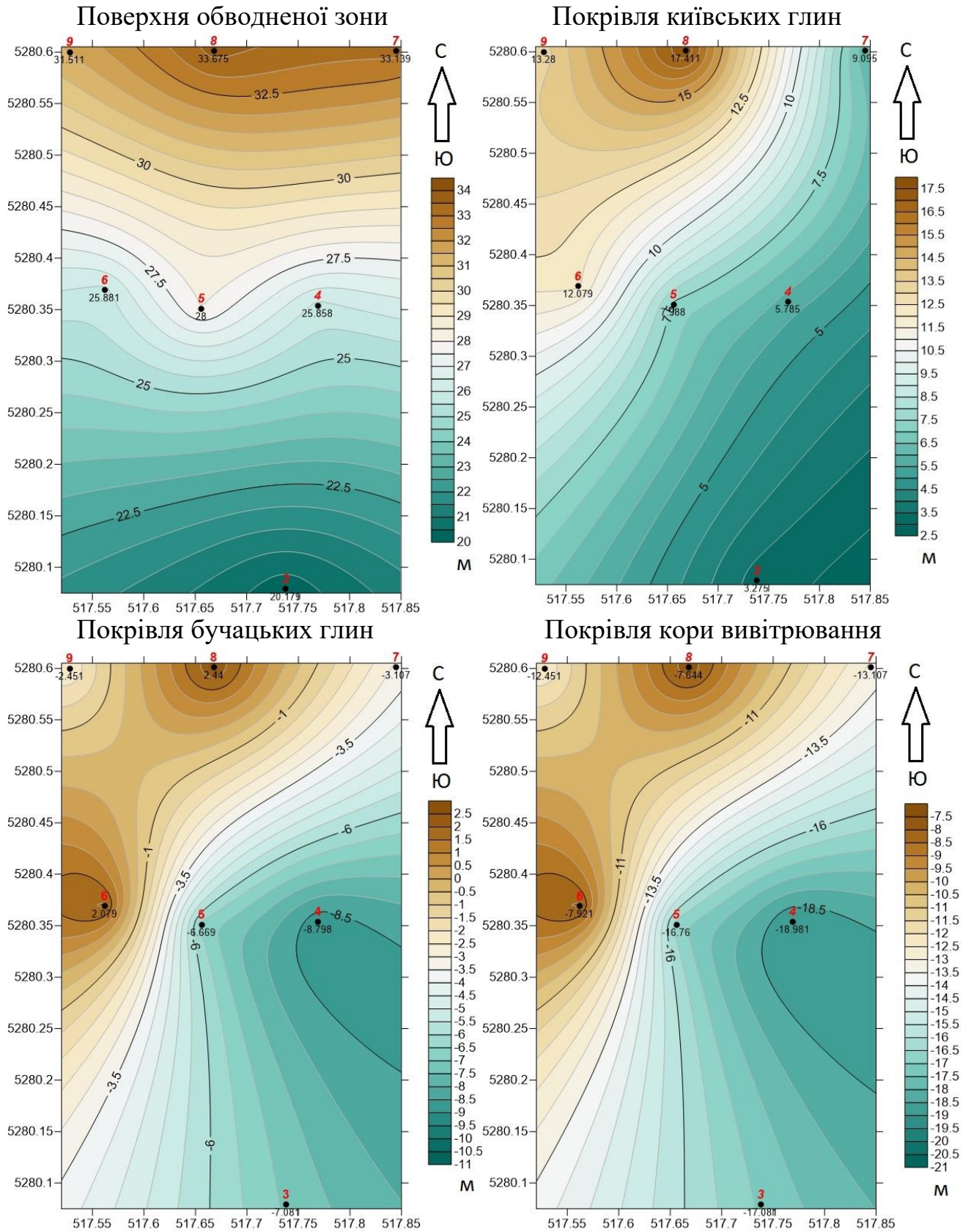


Рисунок 2.18 – Карты ізопіс покрівлі модельованих шарів геоелектричного розрізу, м

Про це може свідчити наявність в досліджуваному інтервалі до глибини 60,0 м зон з низьким імовірним електричним опором – від 0...30 до 100 Ом·м, причому, в межах профілю +54 за імовірним опором виділяються дві ділянки: з підвищеним опором в межах м.о. 66...74 (більше 100 Ом·м, що може свідчити про наявність здренованих проникних порід), і зниженим опором в межах м.о. 74 ... 80 (менше 30 Ом·м, ймовірно свідчить про наявність в основі відвалу зони водонасичених слабопроникних порід).

Висотне положення поверхонь обводнених відвальних порід для розглянутих профілів +54 і +66 може бути охарактеризоване абсолютними відмітками + 30,0 ... 45,0 м.

Згідно з даними АМТЗ імовірний розподіл рівнів води (поверхні зони водонасичення) в підшві породного відвалу характеризується абсолютними відмітками 20,2 ... 33,7 м, із загальним ухилом поверхні з півночі на південь – від точки 9 (+33,67 м) до точки 3 (+20,18 м).

Дані польових геофізичних досліджень добре погоджуються з результатами геофільтраційного моделювання – так, за наявності в основі відвалу № 3 шару слабопроникних порід (ущільнених суглинків і глин), в межах площі, що розглядається, відбувається формування зони локально обводнених відвальних порід з абсолютними відмітками рівневої поверхні +24,1... +31,4 м і загальним її ухилом в південному напрямку.

2.3 Дослідження динаміки кар'єрних водопритоків в умовах входження борту кар'єру в зону зрушень від гірничих виробок

Методикою досліджень передбачалось вирішення обернених і прогнозних задач, в процесі якого була встановлена адекватність відображення в геофільтраційній моделі гідродинамічних умов досліджуваної території та отримані прогнозні величини кар'єрних водопритоків за умови розвитку гірничих робіт на ділянці північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК».

Адекватність відображення геофільтраційною моделлю існуючих гідро-геологічних умов оцінювалася за її відповідністю прийнятій гідродинамічній схемі, балансовими складовими моделі у частині збіжності розрахункових та фактичних величин кар'єрних водопритоків, а також збіжністю розрахункових та фактично встановлених рівнів підземних вод на відповідні розрахункові періоди.

При вирішенні обернених задач і верифікації геофільтраційної моделі використані дані щодо рівневого режиму підземних вод і величин кар'єрних водопритоків за період 2016-2018 рр. з їх актуалізацією станом на кінець 2019 року. Детальний аналіз динаміки рівневого режиму на ділянці північного борту кар'єру, а також величин кар'єрних водопритоків згідно їх розподілу по бортах діючого кар'єру, наведений у розділі 1.

В процесі верифікації геофільтраційної моделі було виконано уточнення та доповнення загальної гідродинамічної схеми та геолого-структурної будови досліджуваної території даними щодо особливостей будови і стану західного борту кар'єру – на ділянці його зчленування з породним відвалом № 1, та північного борту кар'єру – в межах ділянки входження його в зону зрушень від підземних гірничих виробок ш. «Центральна».

Згідно з даними матеріалів інженерно-геологічних вишукувань поверхня кори вивітрювання кристалічних порід (переважно гранітоїдів – мігматитів і гнейсів), що складають крила Лихманівської синкліналі, в основному відносно рівна, з пониженням від центральної залізорудної зони, що складає ядро синкліналі. Підняття поверхні залізорудної товщі над породами, що її вміщують, у Кривому Розі досягає декількох десятків метрів.

В межах західного борту абсолютні відмітки поверхні докембрію складають від –11,3 м (св. № 1а) до –7,6 м (св. № 1), з підвищенням на північ (і наближенням до контакту із залізорудною смугою) до відмітки 3,9 м (св. № 11) – табл. 2.9. В районі свердловин №№ 3 і 8 відмічається значне пониження відміток поверхні докембрію до –19,9 м (св. № 3) і –23,8 м (св. № 8).

Пониження в поверхні докембрію поперечні по відношенню до простя-

гання залізорудної смуги, що найбільш чітко виражено на західному борту у свердловинах №№ 3, 5, 6 і 8. Це пониження відзначається і у відкладеннях, що залягають вище. До них же приурочена й б. Склеювата, яка перетинає кар'єрне поле і впадає в р. Інгулець.

Слід відзначити, що поверхня кори вивітрювання в межах західного борту більш мінлива, ніж в межах східного борту. При цьому найбільша потужність кори вивітрювання відзначається як на ділянках з пониженнями рельєфу, так і на його підвищеннях.

Характер залягання покрівлі мергелястих та алевроитових глин кийського ярусу, кори вивітрювання кристалічного масиву та її потужностей, встановлені за даними інженерно-геологічної розвідки, наведені на рис. 2.19, 2.20 і 2.21.

Слід відзначити, що дані геофізичних досліджень не суперечать даним розвідки щодо геологічної будови західного борту кар'єру (рис. 2.22, 2.23).

Таблиця 2.9 – Абсолютні відмітки підшови шарів осадових відкладень в межах західного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

№№ св.	Кора вивітрювання	P_{2bc}	P_{2kv}	P_{3hr}	N_{1s}	N_{1m}	N_{1pn}	N_2^3 - - Q_{I-IV}
1 ^a	-17,27	-	-11,27	26,93	28,23	-	-	33,73
1	-17,34	-7,64	-1,34	30,06	31,06	45,86	47,26	57,76
2	-26,10	-9,90	-4,90	29,90	30,40	46,20	47,40	53,10
3	-35,16	-19,86	-14,56	-	27,24	44,74	45,64	49,44
4	-	-6,11	-4,96	-	29,14	48,44	49,04	51,84
5	-18,11	-17,11	-12,91	-	28,39	47,19	48,29	48,69
6	-	-14,80	-12,80	-	26,40	-	-	47,60
7	-47,90	-18,50	-18,00	-	26,40	49,80	50,60	59,90
8	-29,16	-23,76	-21,26	-	25,04	50,74	51,64	59,14
9	-24,16	-	-17,98	-	25,22	50,82	51,82	55,52
10	-22,91	-13,91	-12,61	-	29,09	48,69	49,79	51,59
11	3,07	-	3,87	31,37	33,17	48,37	49,27	56,97
12	-5,62	-	-1,92	37,48	38,38	49,00	49,78	56,08

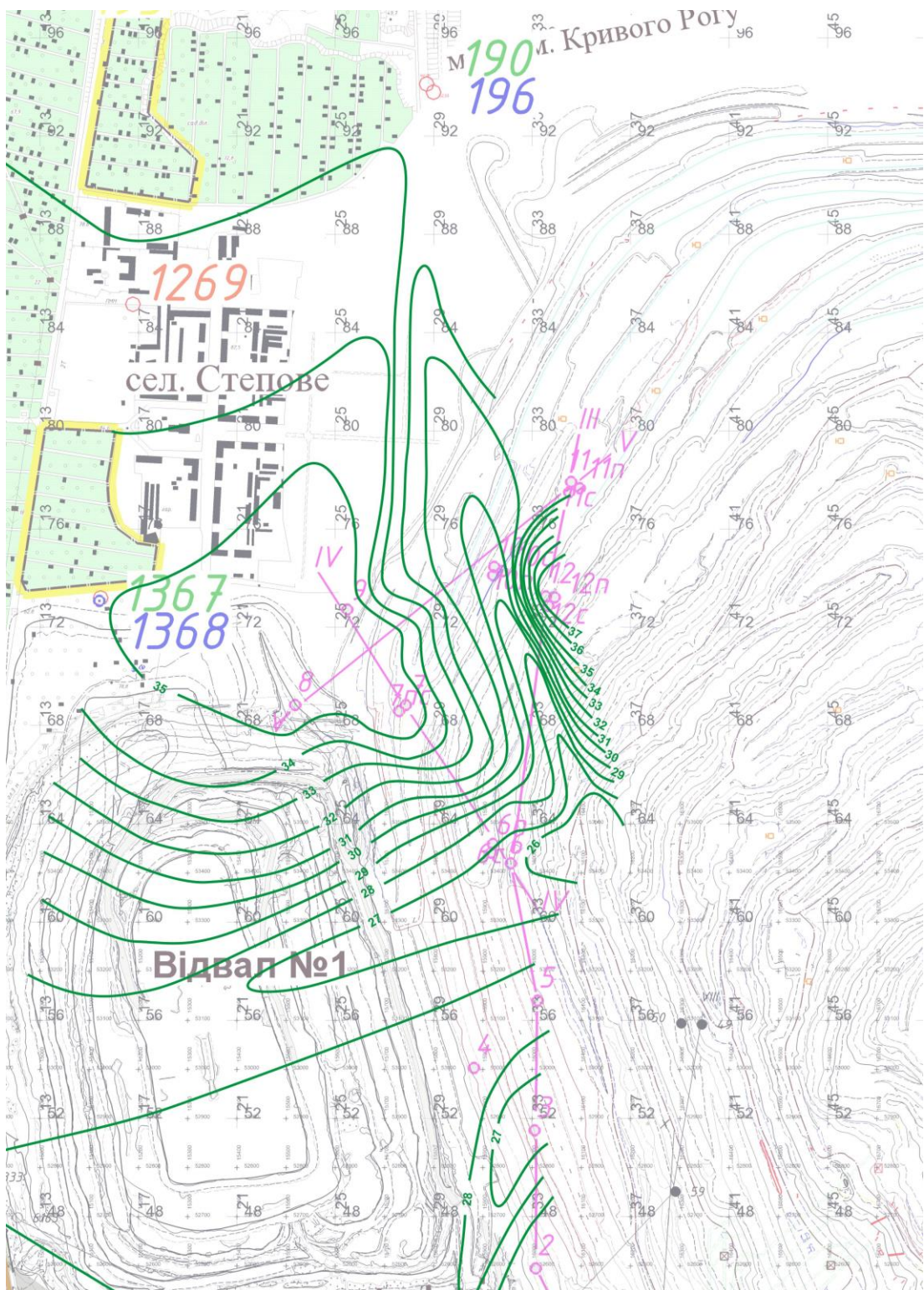


Рисунок 2.19 – Карта покрівлі мергелястих та алевритових глин київсько-го ярусу палеогену в межах західного борту кар’єру, м

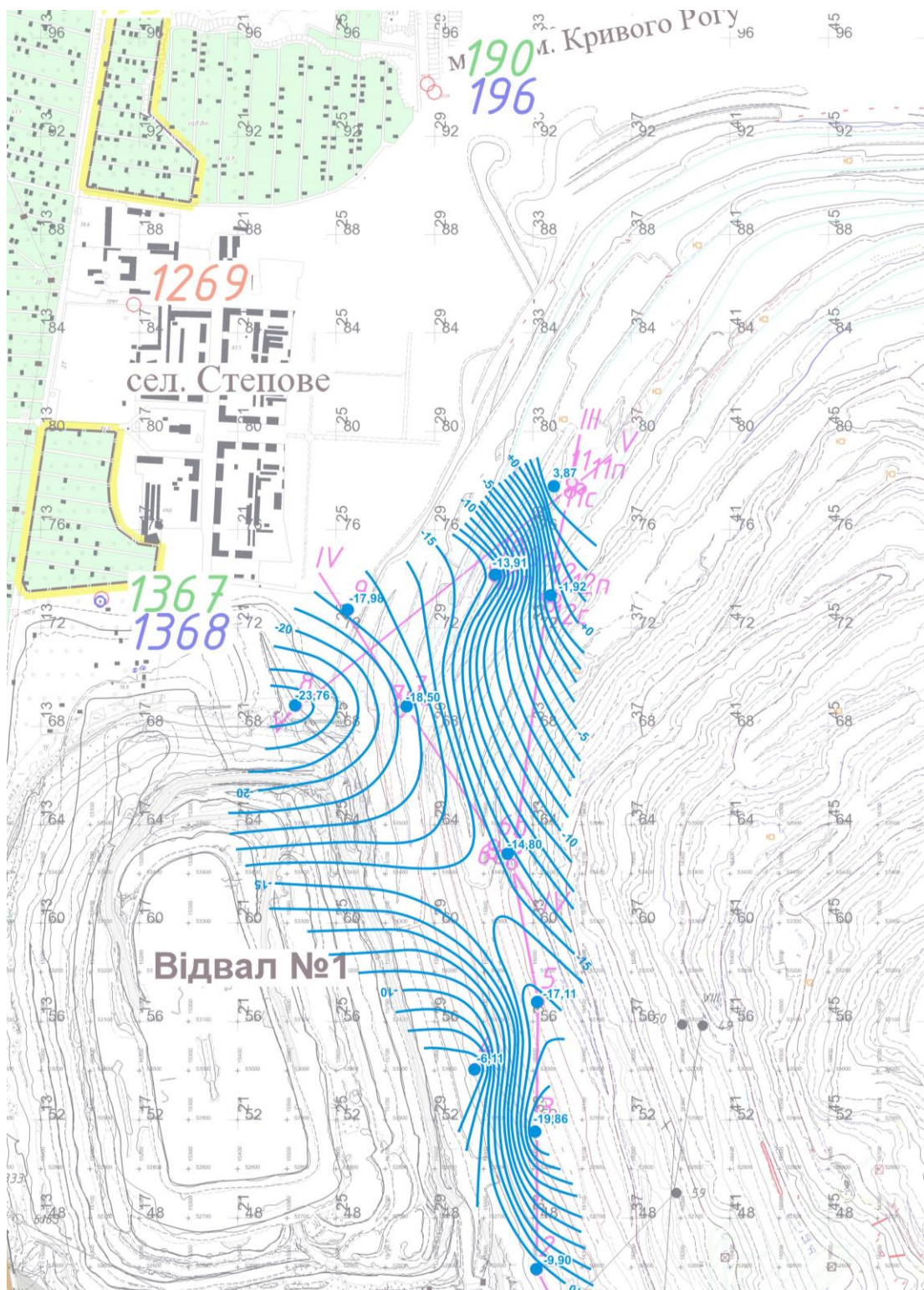


Рисунок 2.20 – Карта поверхні кристалічного масиву та його кори вивітрювання в межах західного борту кар’єру, м

Суміщення профілів ЕТ у вертикальному розрізі в межах м.о. 46...74 дає уявлення про будову західного борту кар'єру як чотиришарової товщі, представлені у верхній частині локально обводненими неоген-четвертинними глинами (шар 1), підстеляючими їх вапняками понтичного і сарматського ярусів палеогену (шар 2), товщею водонасичених київських глин палеогену (шар 3) і кристалічного масиву та кори його вивітрювання (шар 4).

Виділення в межах геоелектричних профілів ділянок з пониженим удаваним питомим опором дає підстави для виконання гідродинамічної схематизації західного борту кар'єру, в основу якої покладена фільтрація підземних вод від ділянки породного відвалу № 1, розташованого в тальвегу б. Склеювата, надходження їх до сарматських відкладень палеогену та наступне розвантаження в уступах західного борту кар'єру по поверхні київських глин.

На користь наведеної схеми свідчать також дані щодо деформаційних процесів та водопроводів, зафіксованих на ділянці західного борту.

Так, що у жовтні 2018 р. на західному борту кар'єра в м.о. 68⁰⁰...68⁵⁰; 31⁵⁰...33⁰⁰ відбулось опливання гірських порід в уступі $\pm 0,0/-15$ м, представлені глинами київського ярусу. В результаті цього перезволожені породи сповзли на нижні горизонти -15 м та -30 м. В тілі опливини відмічено декілька концентрованих потоків із сумарною витратою близько 25 м³/год. Довжина по фронту деформованої ділянки склала 50 м.

У листопаді 2018 р., на захід від границі цього порушення, з декількох буровибухових свердловин (м.о. 68⁰⁴...68¹¹; 31⁰²...31¹⁰) спостерігався самовилив води із вимиванням білувато-сірого піску, який тривав до кінця року.

Зафіксований самовилив свідчить про наявність нездренованих напірних вод в межах західного борту кар'єру. Їх формування може бути віднесено до понижень рельєфу кори вивітрювання кристалічного масиву (м.о. 64...76, 21...29; св. №№ 7, 8) з приуроченістю до малопотужних піщаних відкладень у подошві київського ярусу палеогену та водовмісних утворень бучацького ярусу. Про можливість формування статичних запасів локально напірних вод в пониженнях кристалічного масиву на ділянці посування кар'єру в бік західного бор-

ту можуть свідчити відсутність ресурсного забезпечення зафіксованих кар'єрних водопритоків та їх згасання протягом досить короткого часу.

Геоелектричний розріз вздовж профілю ЕТ у відповідності до його розташування в межах західного борту кар'єру та суміщені геологічні профілі представлений на рис. 2.22, 2.23 і 2.24.

Згідно з даними інтерпретації даних ЕТ геоелектричний розріз до глибини 50,0 м має двошарову будову. Перший шар має досить низький питомий електричний опір і вочевидь представлений водонасиченими глинами київського ярусу палеогену. Другий шар з глибини 20,0...25,0 м має значно більш високий опір, що свідчить про його приналежність до кори вивітрювання кристалічних порід і власне масиву кристалічних порід.

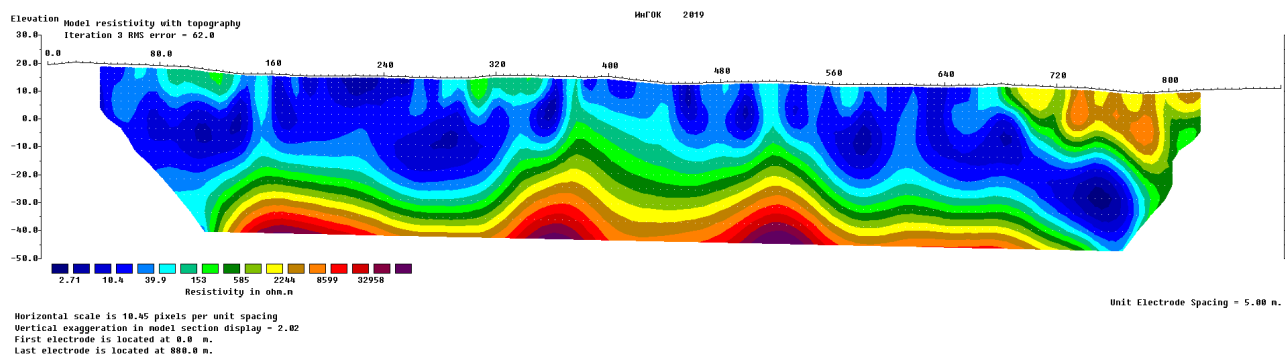


Рисунок 2.22 – Геоелектричний розріз вздовж профілю «+24 м»

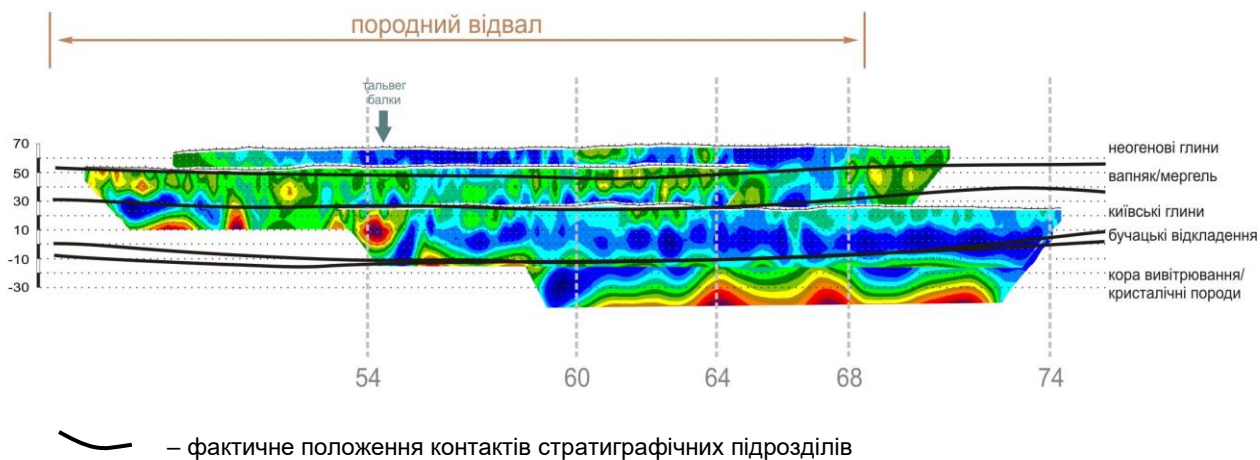


Рисунок 2.23 – Суміщені профілі електричної томографії західного борту кар'єру – логарифмічний масштаб удаваних питомих опорів, Ом·м

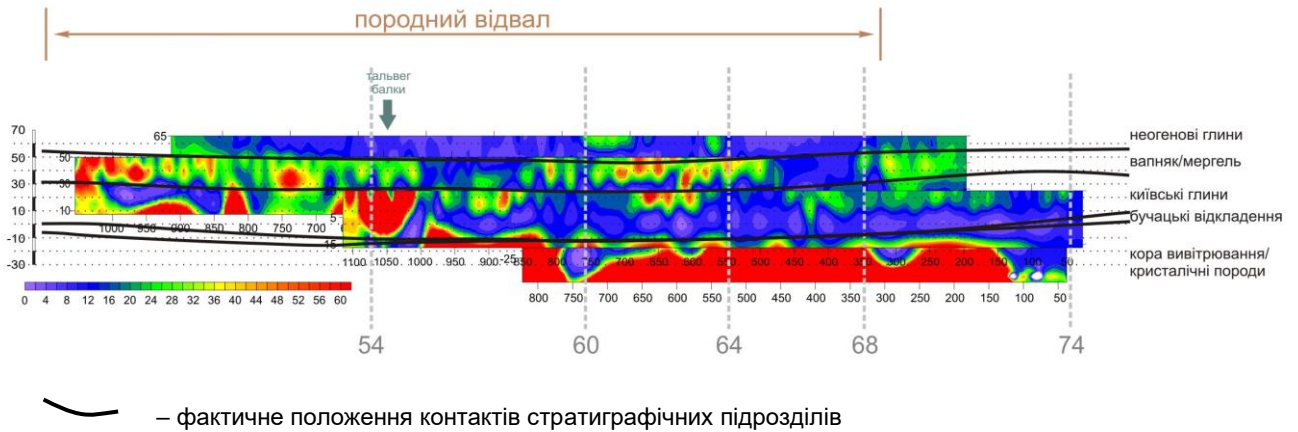


Рисунок 2.24 – Суміщені профілі електричної томографії західного борту кар'єру – лінійний масштаб удаваних питомих опорів, Ом·м

Наявність понижених форм рельєфу поверхні кори вивітрювання, що підстеляє водовмісні київські та бучацькі відкладення на ділянках їх можливого розвитку, до відміток $-17,98...-23,76$ м (св. №№ 7,8 і 9), і значна потужність кори вивітрювання, яка досягає 29,4 м (св. № 7), в подальшому може сприяти формуванню додаткових обсягів кар'єрних водопритоків із водовмісних київських і бучацьких відкладень – до їх повної здренованості при проектуваному розвитку гірничих робіт.

Підтверджене за даними електротомографії в межах північно-західного борту кар'єру положення поверхонь київських глин та кори вивітрювання кристалічного масиву дозволило привести гідродинамічну схему на ділянці м.о. 64...74 до чотиришарової товщі, в межах якої відбувається формування динамічних запасів підземних вод, приурочених до вапняків сарматського ярусу неогену, та статичних запасів локально напірних вод, приурочених до слабopotужних шарів водопроникних відкладень в підшві київських глин (рис. 2.25).

Наявність понижених форм рельєфу поверхні кори вивітрювання, що підстеляє водовмісні київські та бучацькі відкладення на ділянках їх можливого розвитку, а також значна потужність кори вивітрювання, представленої водотривкими відкладеннями, в подальшому може сприяти формуванню додаткових

обсягів кар'єрних водопритоків із водовмісних відкладень при проектуваному розвитку гірничих робіт на ділянці північно-західного борту кар'єру.

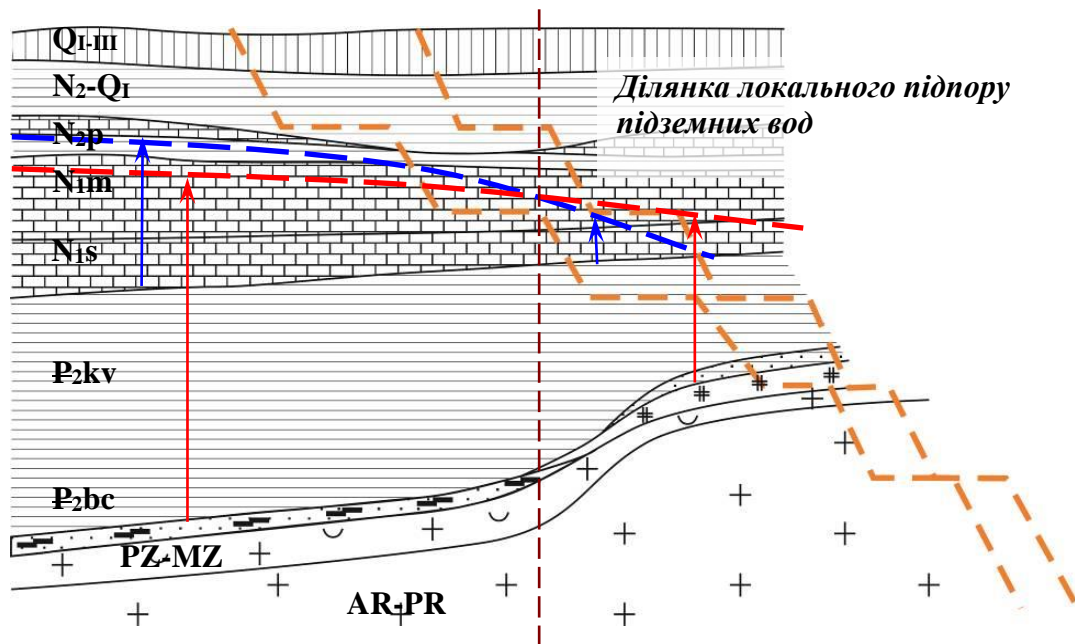


Рисунок 2.25 – Розрахункова гідродинамічна схема ділянки західного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в м.о. 64...74

При аналізі результатів геофізичних досліджень методом АМТЗ на ділянці входження північного борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна» були використані дані спостережень за станом породних укосів в межах північного борту кар'єру, проявами деформаційних процесів та водопроявами, що спостерігалися протягом останніх років.

Так, в 2018 р., як і в попередній період, відбулось інтенсивне просування гірничих робіт в північному напрямку на горизонтах +26 м; +12 м; +0,0 м; -15 м; -30 м. В результаті північним бортом розкриті старі кар'єри рудоуправління Інгулець по видобутку бурого залізняка, природно багатих руд гематит-мартитового складу та зона зрушення ш. «Центральна».

Зона зрушення представлена частково обрушеними (зміщеними переважно по вертикалі) окремими блоками цілика (деякі сягають 30 м) та з поверхні здебільшого раніше засипана розкривними породами змішаного складу. Максимальна загальна довжина старих кар'єрів та зони зрушення, розкрита уступа-

ми кар'єру по фронту, складає більше 300 м.

Згідно з даними геологічної служби ПРАТ «ІНГЗК» 26.10.2018 р. в м.о. 88⁵⁰...88⁷⁰; 45...45²⁰ на північному борту кар'єра в забої ЕКГ 8И госп. № 73 відбулось зміщення порід в об'ємі 285 м³ в вироблений простір екскаваторної заходки та на залізничні колії. В результаті були засипані два думпкари. Визначальною причиною є східний азимут падіння порід (в бік екскаватора) під кутом 68...70° контакту тальків та першого сланцевого горизонту.

При оцінці характеру порушення досліджуваної території були використані дані робіт, присвячених питанням осушення родовища і підвищення стійкості бортів кар'єру, а також охорони споруд та природоохоронних об'єктів від шкідливого впливу гірничих виробок шахти «Центральна».

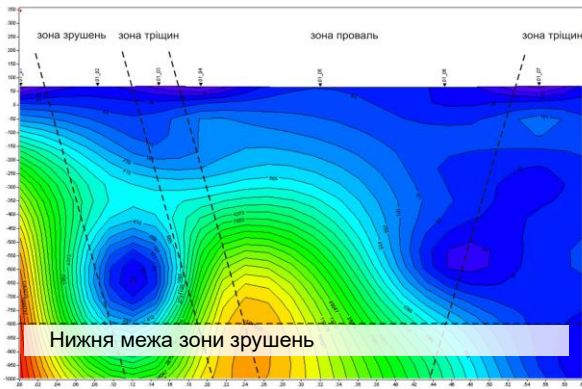
За даними інтерпретації АМТЗ зональність породного масиву в межах північного борту кар'єру визначається ступенем його техногенної порушеності при відпрацюванні залізородних покладів підземними гірничими виробками.

В межах глибин 500...800 м, що відповідають глибинам підземної розробки залізородних покладів, у тому числі ш. «Центральна», за величиною питомих геоелектричних опорів вирізняються ділянки, що відповідають (погоджуються) зонам провалів, тріщин і зсувів (рис. 2.26). Просторове положення цих зон ілюструється суміщенням розрахункових профілів в межах досліджуваної ділянки північного борту кар'єру (рис. 2.27).

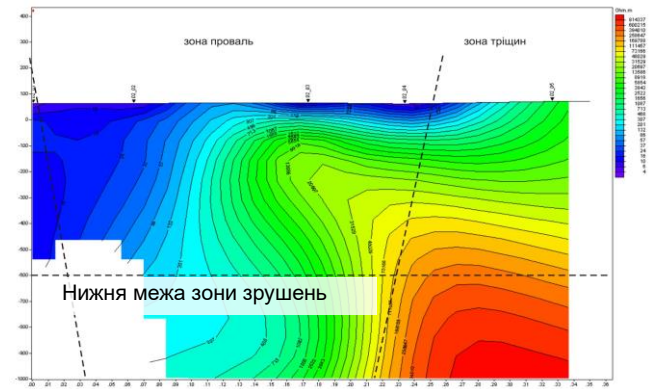
Приуроченість ділянок з пониженими електричними опорами до зон тріщин і розривів може свідчити про формування вздовж ділянок відпрацьованих рудних покладів гідравлічно проникних вертикальних контурів стоку, які забезпечують зв'язок верхніх водоносних горизонтів із тріщинуватою зоною кристалічного масиву.

В той же час, відповідність ділянок з підвищеним питомим опором зонам провалів і пустот може свідчити про загальну здренованість цих зон завдяки їх високій гідравлічній проникності.

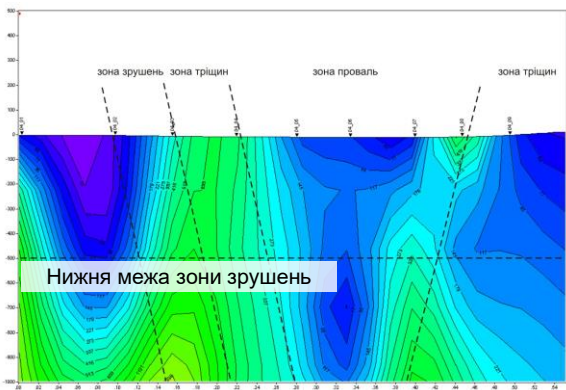
Зроблений за результатами геофізичних досліджень висновок щодо розподілу обводнених зон в межах північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» під-



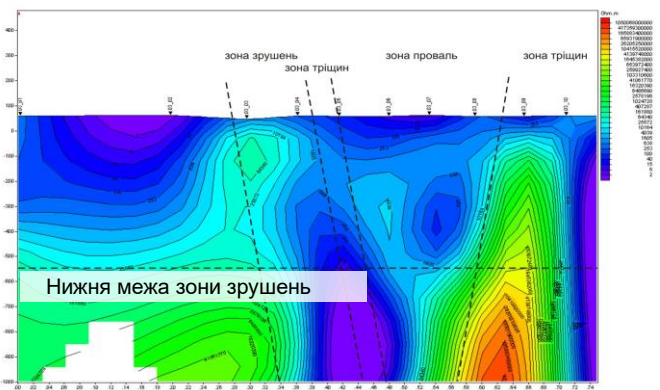
- профіль «Підстанція Північна»



- профіль «Шахта № 10»



- профіль «66 м»



- профіль «0 м»

Рисунок 2.26 – Геоелектричні розріз за результатами аудіомагнітотелуричних зондувань (АМТЗ), Ом·м

тверджується, з одного боку, відсутністю значних водопритоків на його верхніх горизонтах – в межах ділянок відпрацьованих шахтою «Центральна» залізорудних покладів, з іншого – відносною концентрацією кар'єрних водопритоків на нижніх горизонтах кар'єру.

Гідродинамічна схема північного борту кар'єру на ділянці входження його в зону зрушень від підземних виробок шахти «Центральна» згідно з даними АМТЗ може бути представлена просторово зональною будовою з інтенсивно обводненими ділянками субмеридіонально простягнутих зон тріщин і розривів та частково здренованих ділянок зон провалів – з можливою наявністю статичних обсягів підземних вод в межах непогашених підземних виробок (рис. 2.28).

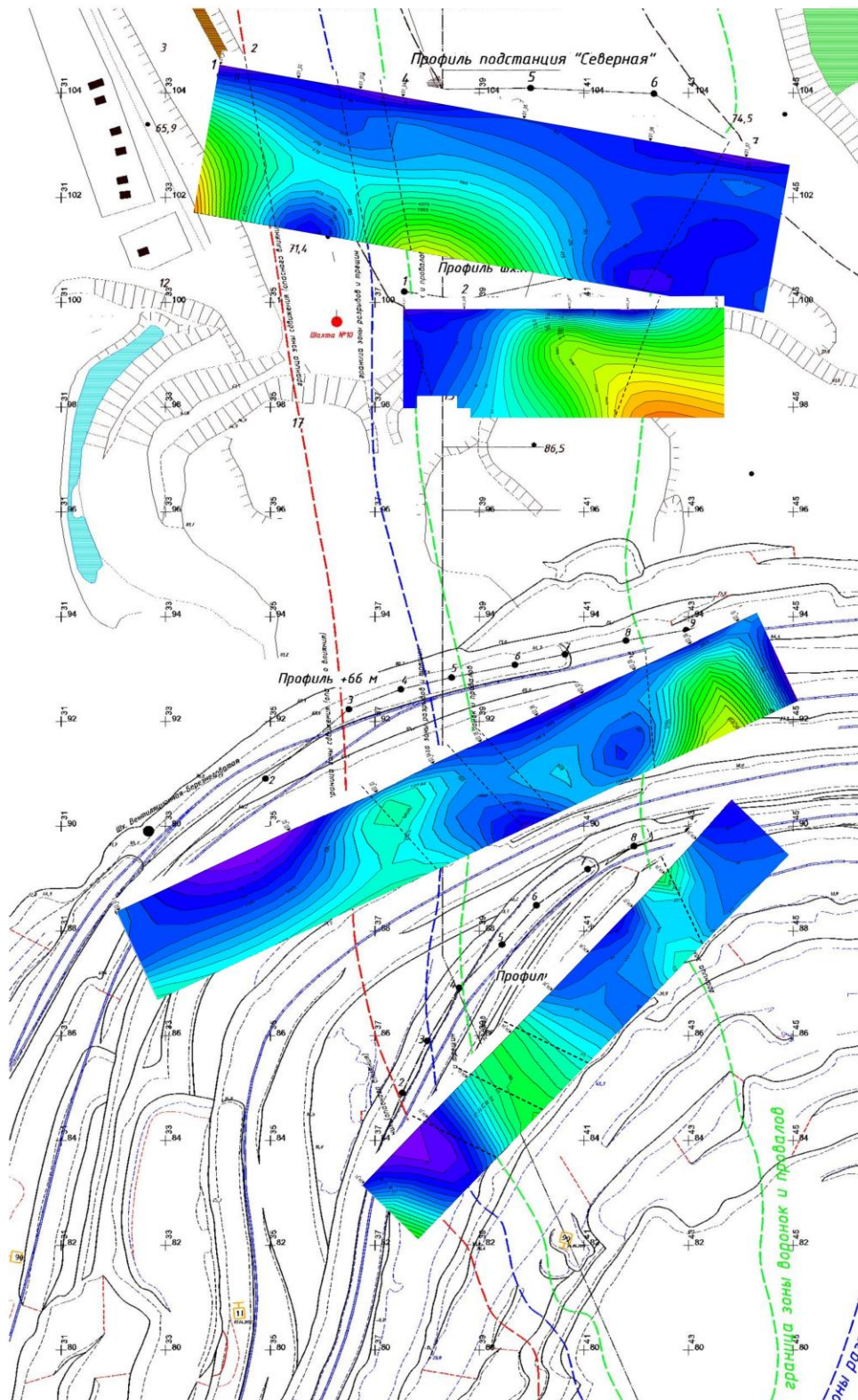


Рисунок 2.27 – Суміщення геоелектричних розрізів за результатами аудіомагнітотелуричних зондувань (АМТЗ) в межах північного борту ПРАТ «ІНГЗК» та прилеглої території

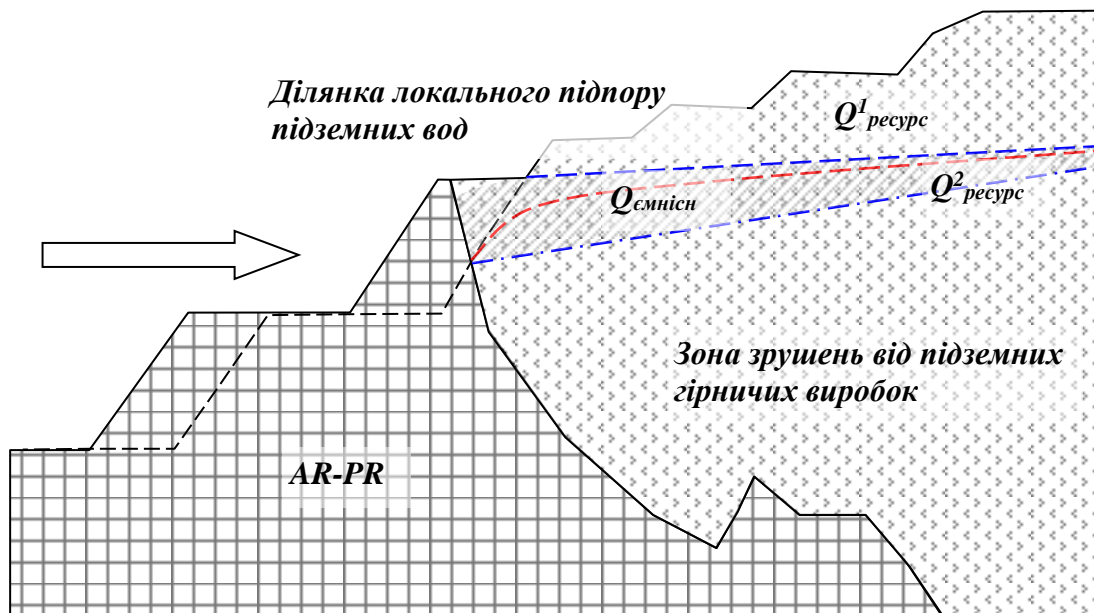


Рисунок 2.28 – Гідродинамічна схема ділянки північного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

Зміни гідродинамічного стану в геофільтраційній моделі при вирішенні обернених задач визначались послідовним посуванням контуру дренажу в межах північного борту кар'єру, заданим граничною умовою другого роду $Q = f(H)$, згідно з його фактичним положенням на відповідні розрахункові періоди 2016-2018 рр. та 2019 р. Другим впливовим чинником, який враховувався при виконанні розрахунків, була зміна величини інфільтраційного живлення, встановленого згідно з розподілом атмосферних опадів на ці ж розрахункові періоди відповідно до даних спостережень..

Динаміку атмосферних опадів, рівневого режиму підземних вод та кар'єрного водовідливу у багаторічному перерізі наведено на рис. 2.29, а просторове положення рівневих поверхонь підземних вод в межах ділянки провалів і зрушень від підземних гірничих виробок, що спостерігались протягом 2016-2019 рр., представлено на рис. 2.30.

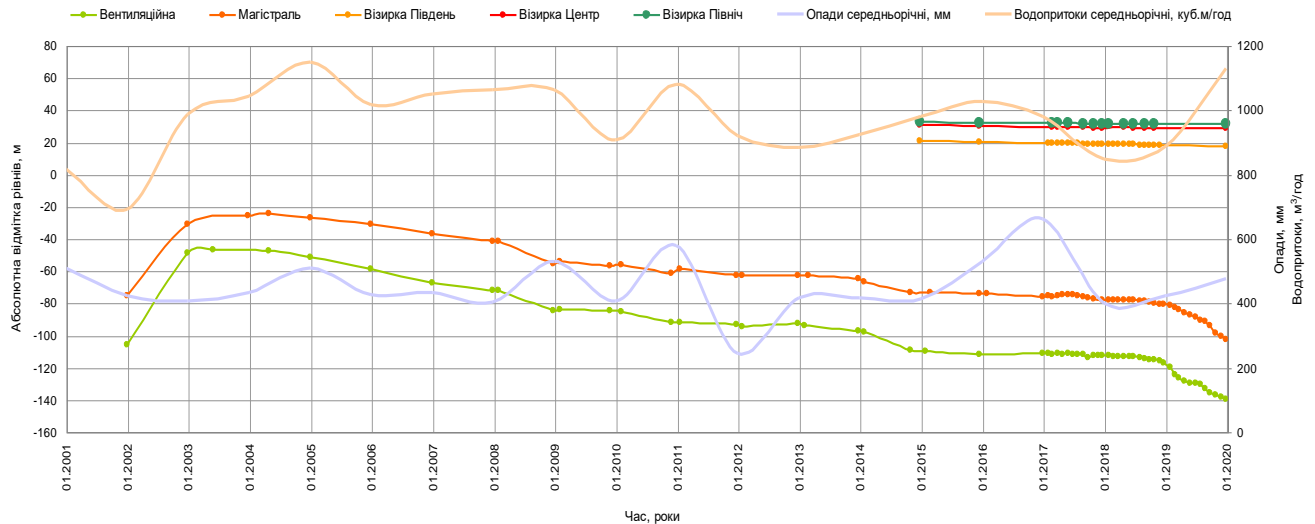


Рисунок 2.29 – Динаміка атмосферних опадів, рівневого режиму підземних вод та кар’єрного водовідливу у багаторічному перерізі

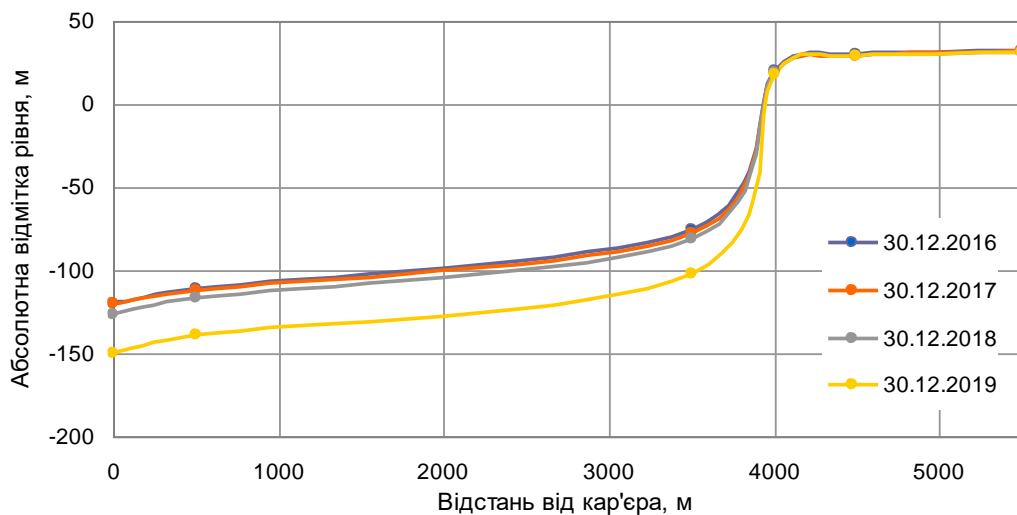


Рисунок 2.30 – Зміни рівнів підземних вод в межах зони провалів і зрушень від підземних гірничих виробок в період спостережень 2016-2019 рр.

Отриманий за результатами рішень обернених задач характер рівневих поверхонь підземних вод для осадової товщі – в межах розрахункового шару сарматських відкладень, і верхнього інтервалу тріщинуватого кристалічного масиву, який містить порушену підземними гірничими роботами зону, станом на початок 2017 та 2020 рр. наведено на рис. 2.31, 2.32, 2.33, 2.34 та 2.35.

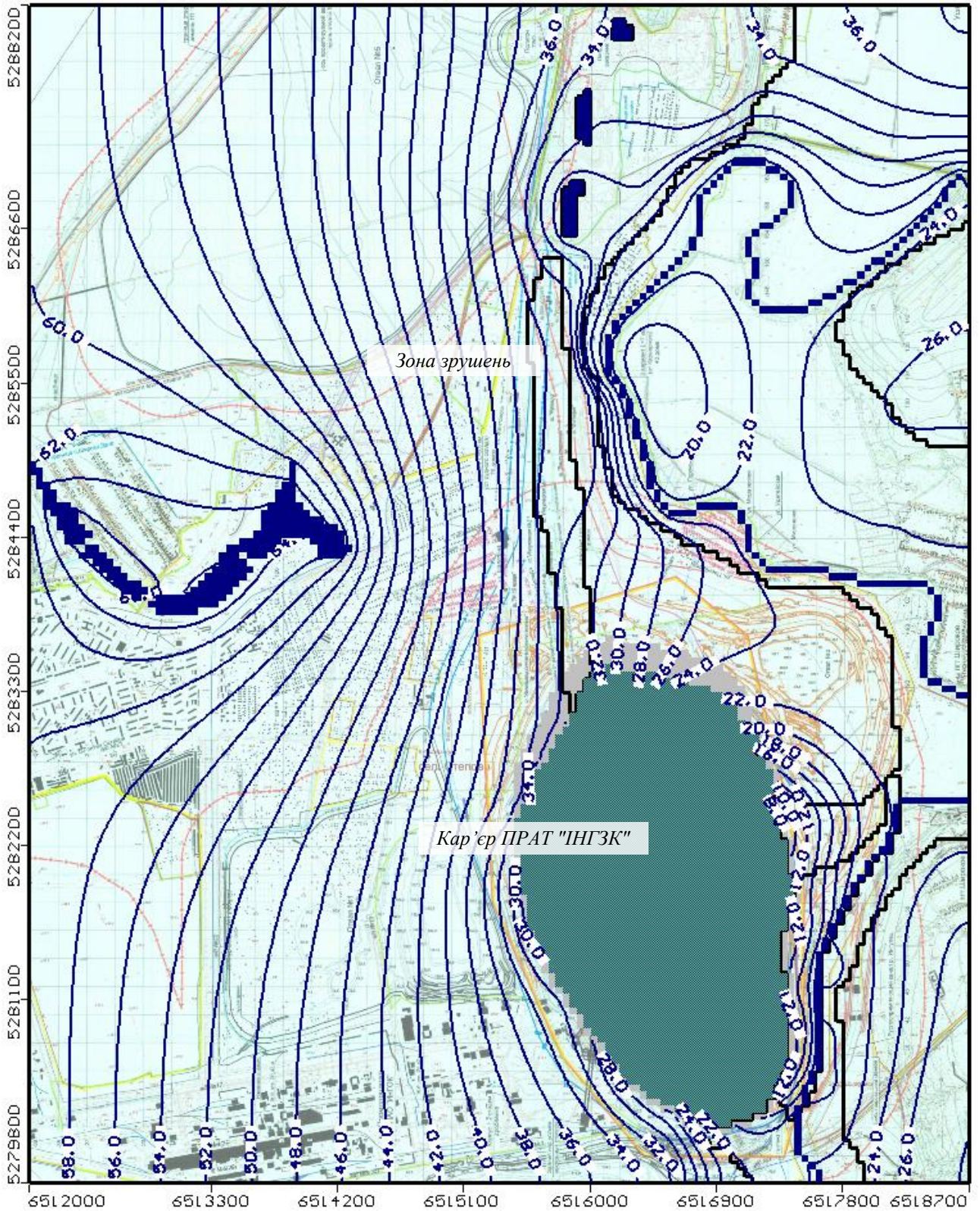


Рисунок 2.31 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в осадовій товщі станом на початок 2017 р., м

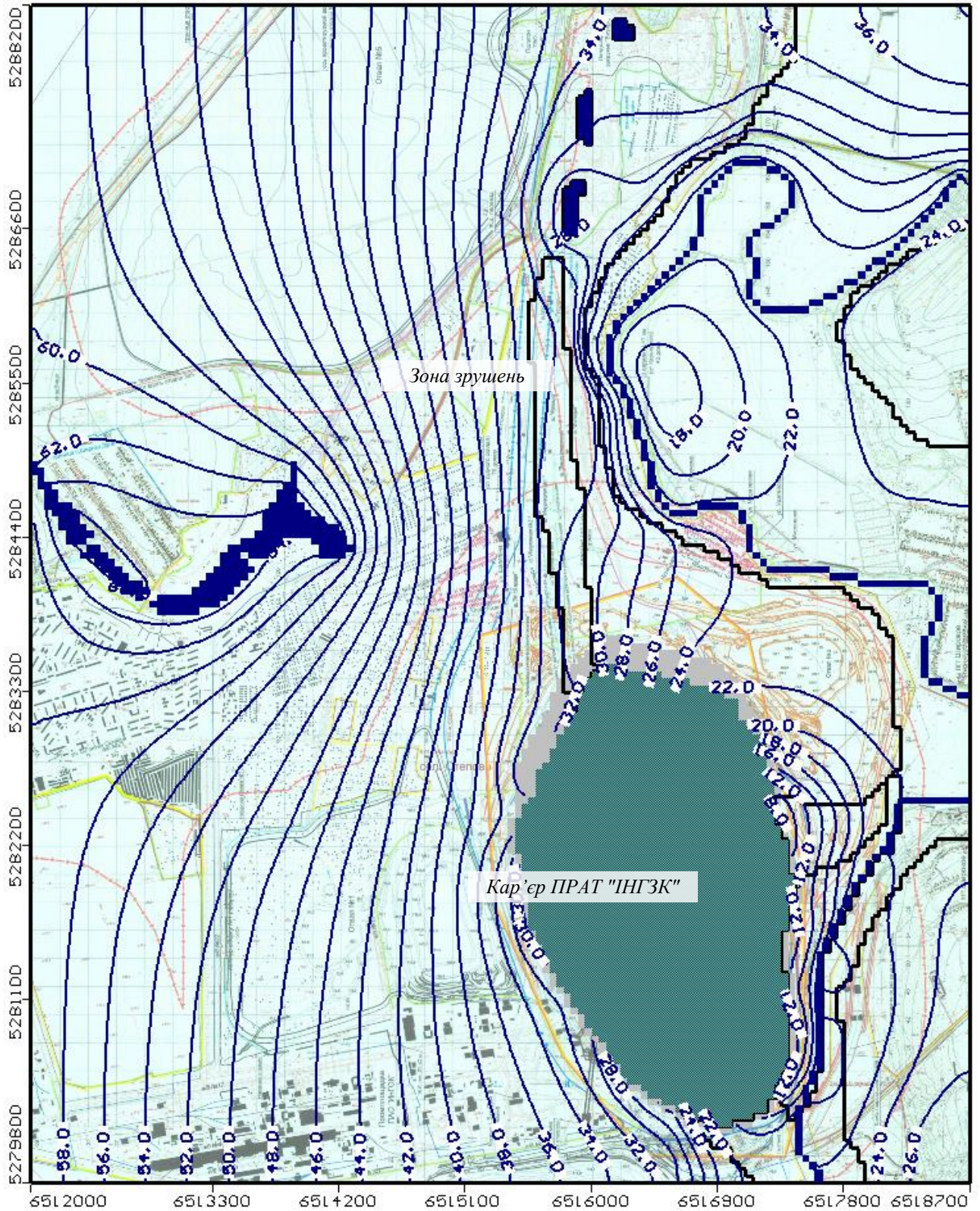


Рисунок 2.32 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в осадовій товщі станом на початок 2020 р., м



Рисунок 2.33 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в тріщинуватій зоні кристалічного масиву станом на початок 2017 р., м

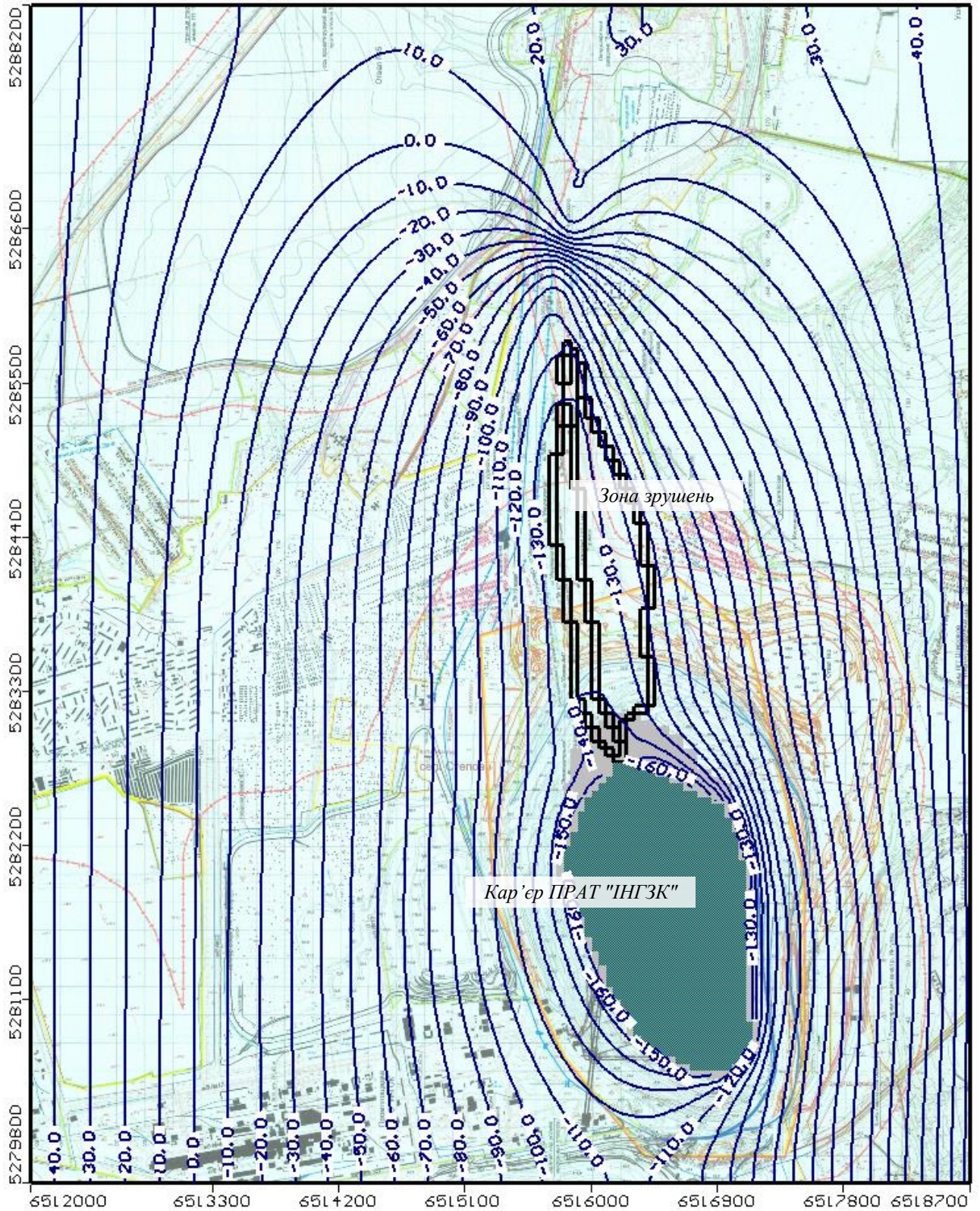


Рисунок 2.34 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в тріщинуватій зоні кристалічного масиву станом на початок 2020 р., м

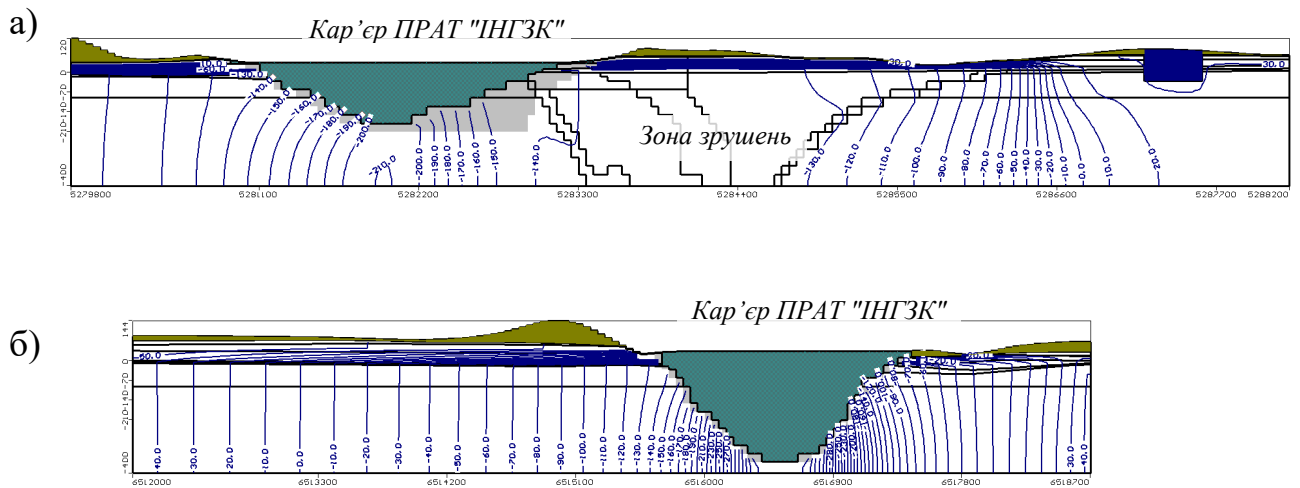


Рисунок 2.35 – Розрахункові гідродинамічні профілі станом на початок 2020 р., меридіональний (а) і широтний (б) напрямки – еквіпотенціалі (лінії рівних напорів), м

Розрахункові дані на вказані періоди були уточнені за даними спостережень за водопритоками та рівневим режимом підземних вод за період лютого-березня 2020 р. Зафіксоване на цей період суттєве зростання водопритоків до 1138,0 м³/год у лютому і 1046,7 м³/год у березні та зниження рівнів підземних вод в межах порушеної гірничими роботами території до відміток –109,5...–160,9 м за часом співпало з входженням північного борту кар'єру в зону підземних гірничих виробок гор. –260,0 м шахти «Центральна».

Згідно з даними вирішення обернених задач зафіксовані суттєві зміни у величинах водопритоків і положенні рівнів підземних вод пов'язані з підвищеною гідравлічною проникністю ділянки підземних виробок 1-го підповерху гор. –260,0, яка може бути охарактеризована еквівалентною величиною коефіцієнта фільтрації на рівні 60,0 м/добу.

Згідно з даними розрахунків формування кар'єрних водопритоків відбувається за рахунок притоку підземних вод із суміжних територій в межах відкладень осадової товщі та тріщинуватої зони кристалічного масиву (34,0...36,6 %), інфільтраційного живлення за площею модельованої області (16,3...26,1 %) та поверхневих вод водойм у балках Березнегувата і Візирка та р. Інгулець (38,8...42,9 %).

Доля ємнісної складової у загальному балансі кар'єрних водопритоків за даними виконаних розрахунків становить близько 4,3...8,4 %, однак, її роль суттєво зростає при розкритті гірничими роботами зони провалів і зрушень шахти «Центральна». Так, при розкритті горизонтом –180,0 м зони підземних гірничих виробок гор. –260,0 м шахти «Центральна», що фактично відбулося у лютому-березні 2020 р., приріст кар'єрного водопритоку згідно з результатами розрахунків, практично повністю забезпечується ємнісними запасами підземних вод, доля яких у загальному балансі водопритоків зростає до 30,1...37,9 %.

Порівняльна характеристика розрахункових і фактичних кар'єрних водопритоків, отриманих за даними вирішення обернених задач і зафіксованих по бортах кар'єру на відповідні періоди 2016-2018 рр., наведена у табл. 2.10. Як видно з таблиці 2.10, відхилення розрахункових значень водопритоків від фактично встановлених згідно з їх розподілом по бортах кар'єру знаходиться в межах 10,0...12,0 м³/год для осадових відкладень та 92,0...107,0 м³/год – для кристалічного масиву.

Таблиця 2.10 – Фактичні і розрахункові водопритоки до бортів кар'єру
– за даними вирішення обернених задач

Борт кар'єру	Водоносний горизонт	Середньорічний водоприток, м ³ /год							
		2016 р.		2017 р.		2018 р.		2019 р.	
		фактичний	модель	фактичний	модель	фактичний	модель	фактичний	модель
Західний	Понтичний (N_{2p}) та сарматський (N_{1sr})	90,0-130,0	88,90	70,0-115,0	79,76	85,0-130,0	80,70	85,0-130,0	83,04
Східний	Алювіальний (Q_{III-IV})	80,0-120,0	102,74	90,0-120,0	97,12	90,0-120,0	96,55	-	97,10
Південний	Алювіальний (Q_{III-IV})	30,0-40,0	20,32	25,0-40,0	19,58	30,0-45,0	19,45	-	19,62
Північний	Осадовий комплекс на ділянці шахтного поля ш. «Центральна»	-	8,85	-	7,79	-	8,09	-	8,72
Руднокристалічний комплекс		-	436,0	250,0...350,0	442,5	260,0...360,0	436,0	467,2	522,3

Динаміка розрахункових кар'єрних водопритоків і рівнів підземних вод в межах порушеної підземними гірничими роботами території у співставленні з аналогічними фактичними даними за період 2016-2019 рр. та лютий-березень 2020 р. (рис. 2.36.) свідчить про задовільну збіжність даних щодо розрахункових і фактичних величин кар'єрних водопритоків і рівнів підземних вод та їх розподілу в багаторічному перерізі.

Таким, чином, відображення в геофільтраційній моделі особливостей будови та стану порушеного гірничими роботами гірського масиву, встановлених за даними аналізу гідродинамічних, геомеханічних та геофізичних полів, дозволило обґрунтовано підійти до прогнозної оцінки кар'єрних водопритоків в межах північного борту кар'єру та визначення його гідрогеомеханічного стану в умовах розвитку гірничих робіт.

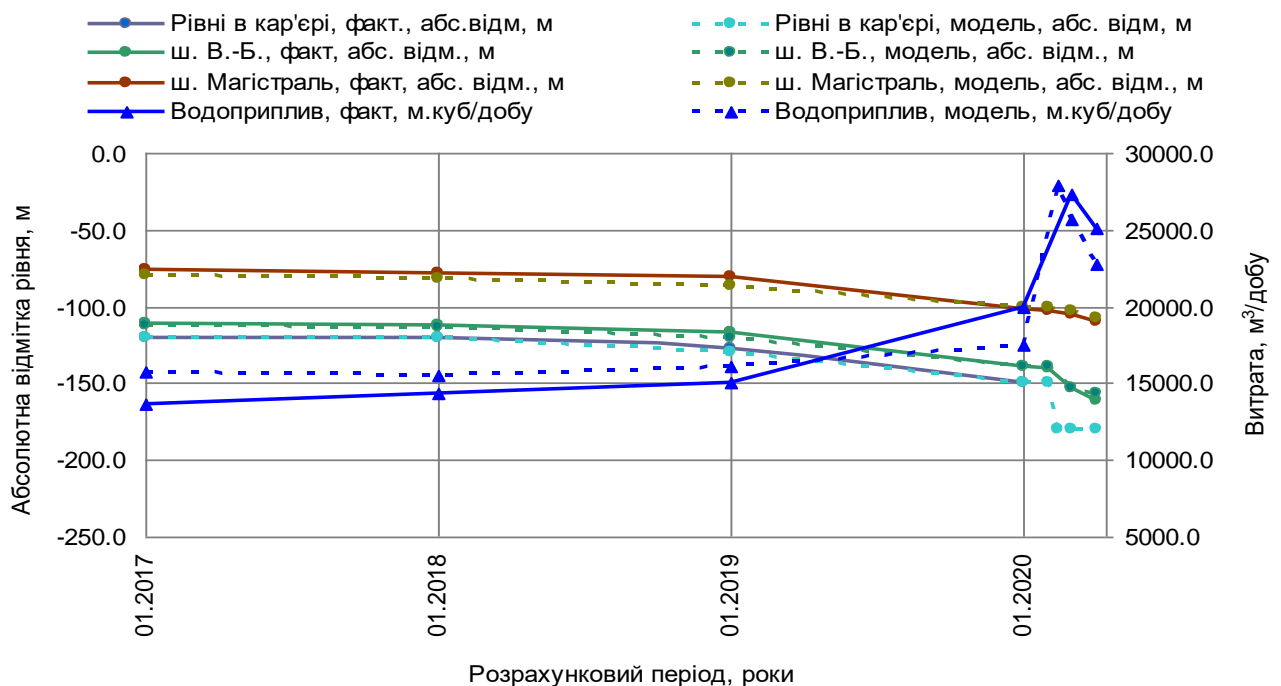


Рисунок 2.36 – Динаміка фактичних і розрахункових кар'єрних водопритоків і рівнів підземних вод в межах порушеної підземними гірничими роботами території за період 2016-2019 рр. та лютий-березень 2020 р.

При виконанні прогнозних розрахунків в умовах нестационарного режиму фільтрації часові інтервали відповідали очікуваним періодам входження північ-

ного контуру кар'єру в зону зрушень на відмітках $-180,0$; $-210,0$; $-240,0$; $-270,0$ і $-300,0$ м. При цьому передбачалось, що швидкість посування фронту гірничих робіт в межах північного борту кар'єру складає близько $40,0 \dots 50,0$ м на рік.

Положення контуру північного борту кар'єру, як і у випадку вирішення обернених задач, на відповідні розрахункові періоди визначалось положенням контуру дренажу із заданою граничною умовою другого роду $Q = f(H)$ в кожному розрахунковому шарі, при висоті зони височування в уступі борту відносно відмітки робочого горизонту $h = 0,5 \dots 1,0$ м.

Інфільтраційне живлення для всього розрахункового періоду ведення гірничих робіт в межах північного борту кар'єру визначалось осередненими величинами, встановленими на рівні $13,0 \dots 80,0$ мм/рік.

Встановлена за результатами прогностного моделювання динаміка кар'єрних водопритоків свідчить про збереження отриманих за даними вирішення обернених задач особливостей гідродинамічного режиму підземних вод, які полягають у послідовному зростанні водопритоків відповідно до періодів входження північного борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок ш. «Центральна».

При умовно миттєвому розкритті робочими горизонтами кар'єру зони провалів і зрушень приріст водопритоків на величину до $15,0 \dots 55,0$ %, що приймаються на кінець періоду 30 діб після розкриття порушеної зони, відбувається за рахунок ємнісних запасів порушеної зони гірських порід, а їх досить швидко подальше зниження (протягом декількох місяців) зумовлене високою гідравлічною проникністю порід в межах ділянок провалів і зрушень від підземних гірничих виробок (табл. 2.11, рис. 2.37).

Поряд з очікуваною циклічністю у розподілі прогностичних водопритоків відзначається також загальна тенденція до зростання кар'єрних водопритоків, що відбувається за рахунок посування північного борту кар'єру і зниження відміток контуру дренажу підземних вод у порушеній гірничими роботами зоні.

Таблиця 2.11 – Балансові складові модельованої області за результатами
прогнозного моделювання, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
2024 р., 12585 діб (гор. –180,0 м)		
Інфільтраційне живлення	2622,62	-
Взаємозв'язок з водоймами	8364,32	-297,47
Витрати по контуру	7636,48	-977,46
Ємнісна складова	3429,94	-
Приток до кар'єру	-	-20778,31
- у тому числі північний борт	-	-13014,00
Всього	22053,36	-22053,25
Похибка		0,11
Нев'язка, %		0,00
2028 р., 14045 діб, (гор. – 210,0 м)		
Інфільтраційне живлення	2622,62	-
Взаємозв'язок з водоймами	8602,47	-272,92
Витрати по контуру	7907,39	-972,79
Ємнісна складова	9506,34	-
Приток до кар'єру	-	-27392,81
- у тому числі північний борт	-	-19723,00
Всього	28638,82	-28638,52
Похибка		0,30
Нев'язка, %		0,00
2032 р., 15505 діб, (гор. –240,0 м)		
Інфільтраційне живлення	2622,62	-
Взаємозв'язок з водоймами	9180,08	-234,74
Витрати по контуру	8297,75	-964,81
Ємнісна складова	11093,79	-
Приток до кар'єру	-	-29994,74
- у тому числі північний борт	-	-22483,00
Всього	31194,24	-31194,29
Похибка		-0,06
Нев'язка, %		0,00
2036 р., 16965 діб, (гор. –270,0 м)		
Інфільтраційне живлення	2622,62	-
Взаємозв'язок з водоймами	9862,20	-193,95
Витрати по контуру	8778,01	-955,22
Ємнісна складова	10070,56	-
Приток до кар'єру	-	-30184,26
- у тому числі північний борт	-	-22832,00
Всього	31333,40	-31333,44

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Похибка		-0,04
Нев'язка, %		0,00
2040 р., 18425 діб, (гор. -300,0 м)		
Інфільтраційне живлення	2622,62	-
Взаємозв'язок з водоймами	10513,53	-158,03
Витрати по контуру	9253,37	-946,06
Ємнісна складова	10679,92	-
Приток до кар'єру	-	-31965,27
- у тому числі північний борт	-	-24758,00
Всього	33069,44	-33069,36
Похибка		0,08
Нев'язка, %		0,00

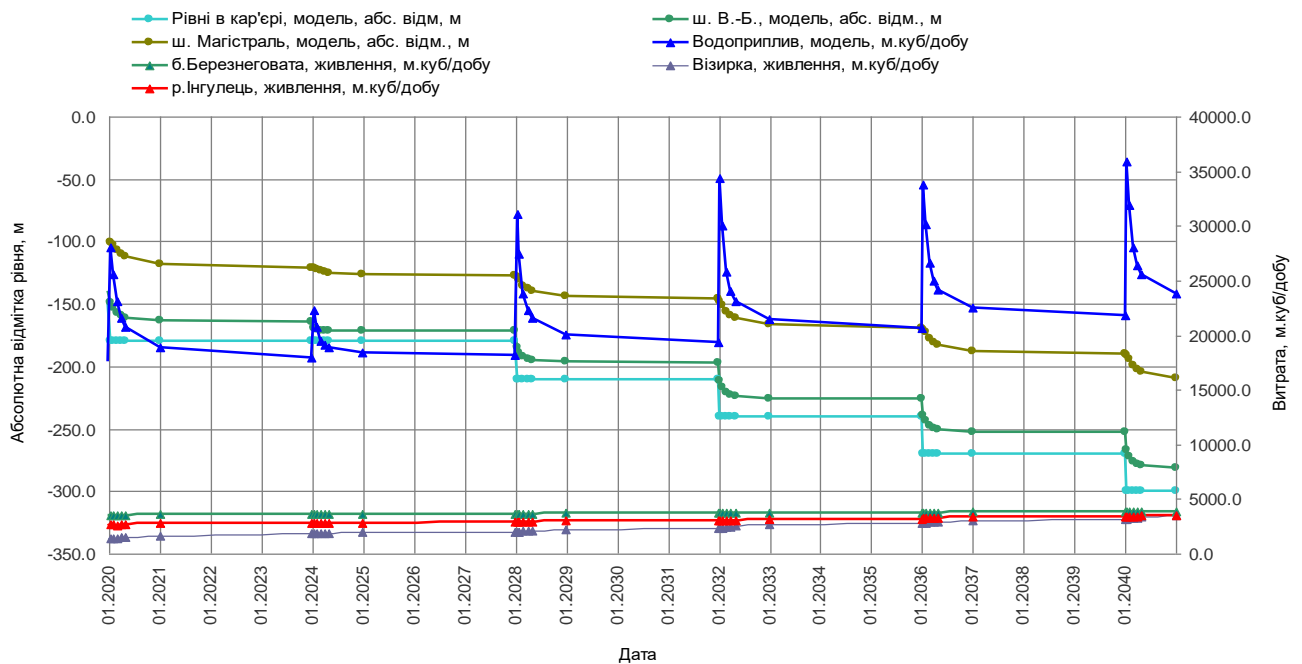


Рисунок 2.37 – Динаміка прогнозованих водоприпусків і рівнів підземних вод в умовах входження північного борту кар'єру в зону ш. «Центральна»

Згідно з даними моделювання очікуване зростання кар'єрних водоприпусків в період планового розвитку гірничих робіт до горизонту -300,0 м відбувається на моменти розкриття зони провалів і зрушень від 22286,3 до 35858,7 м³/добу (від 928,6 до 1494,1 м³/год) станом на перші 15 діб та від 20778,3 до 31965,3 м³/добу (від 865,8 до 1331,9 м³/год) станом на перші 30 діб, з наступним

зниженням при спрацюванні ємнісних запасів в наступні після розкриття порушених гірничими роботами гірських порід періоди – від 18426,3 до 23829,7 м³/добу (від 767,8 до 992,9 м³/год).

Зростання кар'єрних водопритоків при посуванні північного борту кар'єру супроводжується послідовним розвитком існуючої гідравлічної депресії як в межах зони провалів і зрушень, так і в межах прилеглих до неї територій (рис. 2.38...2.40).

Зміни гідродинамічного режиму в зоні дренуючого впливу кар'єру приводять до залучення додаткових обсягів поверхневих вод у живленні підземних вод.

Згідно з виконаними оцінками зростання витрат води із р. Інгулець та водойм у балках Березнегувата та Візирка досягає 2,9...7,4 % на періоди розкриття порушених порід та наступної стабілізації водопритоків при сумарному зростанні витрат на кінцевий період відпрацювання кар'єру на 25,7...28,8 %

Зі змінами характеру живлення і дренажу підземних вод відбувається також і перерозподіл водопритоків в межах окремих бортів кар'єру, що знаходить своє відображення у незначному зменшенні водопритоків з осадових відкладень в межах західного борту кар'єру (табл. 2.12, 2.13).

Наведені розрахункові дані відповідають як періодам входження північного борту в зону зрушень від гірничих виробок ш. «Центральна», так і наступній відносній стабілізації кар'єрних водопритоків в межах північного борту кар'єру.

Слід відзначити, що залежність кар'єрних водопритоків від складових водного балансу в умовах наближення борту кар'єру до контурів живлення підземних вод носить близький до лінійного характер і описується рівняннями регресії, які для пікових та стабілізованих величин водопритоків мають вигляд (рис. 2.41):

- для пікових водопритоків – від ємнісної складової:

$$y_1 = 1,3403x_1 + 16059 \text{ при } R^2 = 0,925; \quad (2.6)$$

- для стабілізованих водопритоків – від ресурсної складової:



Рисунок 2.38 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в тріщинуватій зоні кристалічного масиву, контур дренажу в межах північного борту кар'єру на горизонті $-180,0$ м, м

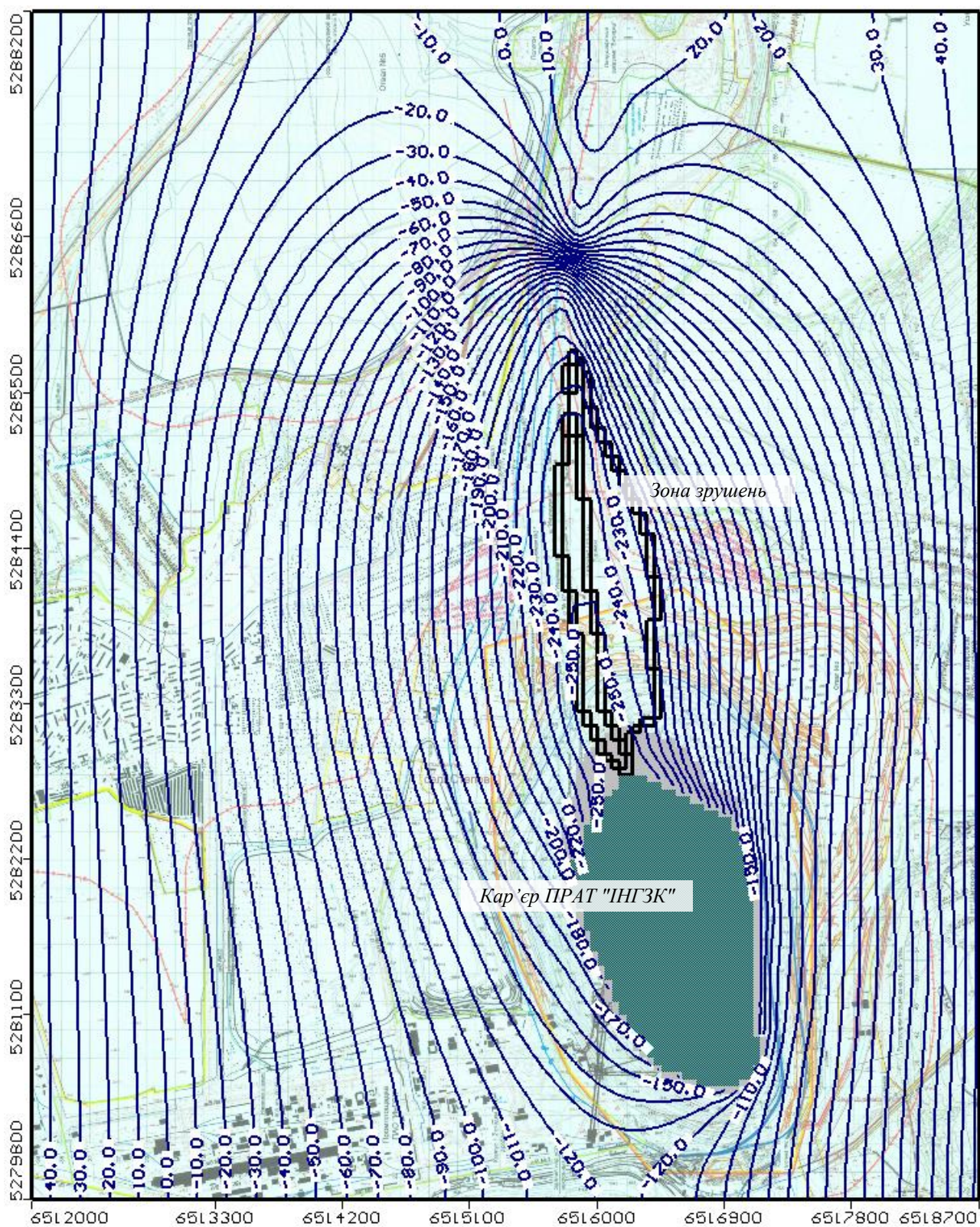


Рисунок 2.39 – Розрахункова рівнева поверхня підземних вод в тріщинуватій зоні кристалічного масиву, контур дренавання в межах північного борту кар'єру на горизонті $-300,0$ м, м

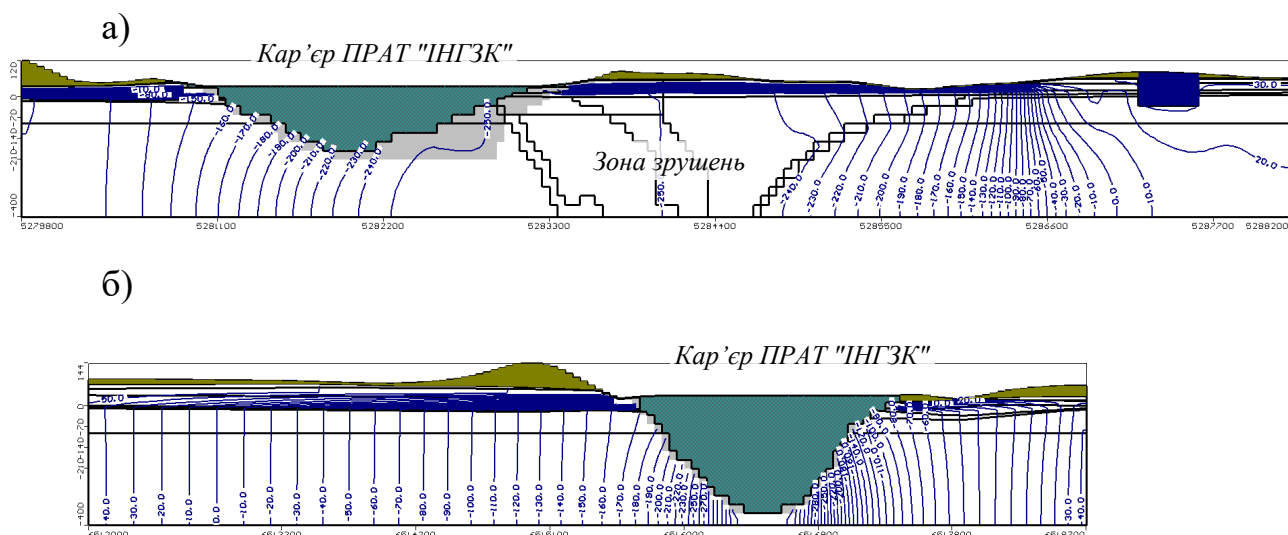


Рисунок 2.40 – Розрахункові гідродинамічні профілі, контур дренавання в межах північного борту кар'єру на горизонті $-300,0$ м – меридіональний (а) і широтний (б) напрямки – екіпотенціали (лінії рівних напорів), м

Таблиця 2.12 – Водопитоки до бортів кар'єру – за даними прогнозних розрахунків на момент входження північного борту в зону зрушень ш. «Центральна»

Борт кар'єру	Водонесний горизонт	Розрахунковий водопріток, м ³ /год				
		Горизонт, м				
		-180,0	-210,0	-240,0	-270,0	-300,0
Західний	Понтичний (N_{2p}) та сарматський (N_{1sr})	77,89	76,86	74,85	72,60	70,50
Східний	Алювіальний (Q_{III-IV})	95,89	95,81	95,64	95,46	95,30
Південний	Алювіальний (Q_{III-IV})	19,40	19,37	19,35	19,33	19,30
Північний	Осадовий комплекс на ділянці шахтного поля ш. «Центральна»	7,05	6,70	5,68	4,48	3,35
Руднокристалічний комплекс, в т.ч.:						
	- західний борт	29,38	27,89	26,16	24,60	23,32
	- східний борт	67,28	66,55	65,22	64,08	63,05
	- південний борт	26,65	27,63	26,11	25,80	25,48
	- північний борт	542,25	821,79	936,79	951,33	1031,58

Таблиця 2.13 – Розрахункові водопритоки до бортів кар’єру ПРАТ «ІНГЗК»
– за даними прогнозних розрахунків стабілізованих водопритоків

Борт кар’єру	Водоносний горизонт	Розрахунковий водоприток, м ³ /год					
		Горизонт, м					
		–180,0 кінець 2020 р.	–180,0	–210,0	–240,0	–270,0	–300,0
Західний	Понтичний (N_{2p}) та сарматський (N_{1sr})	79,05	77,42	75,63	73,45	71,32	69,19
Східний	Алювіальний (Q_{III-IV})	96,05	95,85	95,73	95,55	95,38	95,21
Південний	Алювіальний (Q_{III-IV})	19,44	19,39	19,37	19,34	19,32	19,30
Північний	Осадочний комплекс на ділянці шахтного поля ш. «Центральна»	7,37	6,84	5,97	4,80	3,66	2,50
Руднокристалічний комплекс, в т.ч.:							
	- західний борт	30,87	28,73	27,05	25,54	24,16	22,97
	- східний борт	68,26	66,97	65,88	64,77	63,70	62,71
	- південний борт	26,93	26,58	26,33	26,05	25,73	25,41
	- північний борт	458,92	446,00	518,25	583,42	636,38	695,63

$$y_2 = 1,886x_2 + 3165,7 \text{ при } R^2 = 0,972, \quad (2.7)$$

де x_1 і x_2 – відповідно ємнісна та ресурсна складові кар’єрних водопритоків.

Доля ємнісної складової у загальному балансі кар’єрних водопритоків за даними розрахунків складає близько 4,3...8,4 %, однак, її роль суттєво зростає при прогнозованому розкритті гірничими роботами зони провалів і зрушень шахти «Центральна». Так, при розкритті горизонтом –180,0 м зони підземних гірничих виробок гор. –260,0 м шахти «Центральна» приріст кар’єрного водопритоку згідно з результатами розрахунків, практично повністю забезпечується ємнісними запасами підземних вод, доля яких у загальному балансі водопритоків зростає до 30,1...37,9 %.

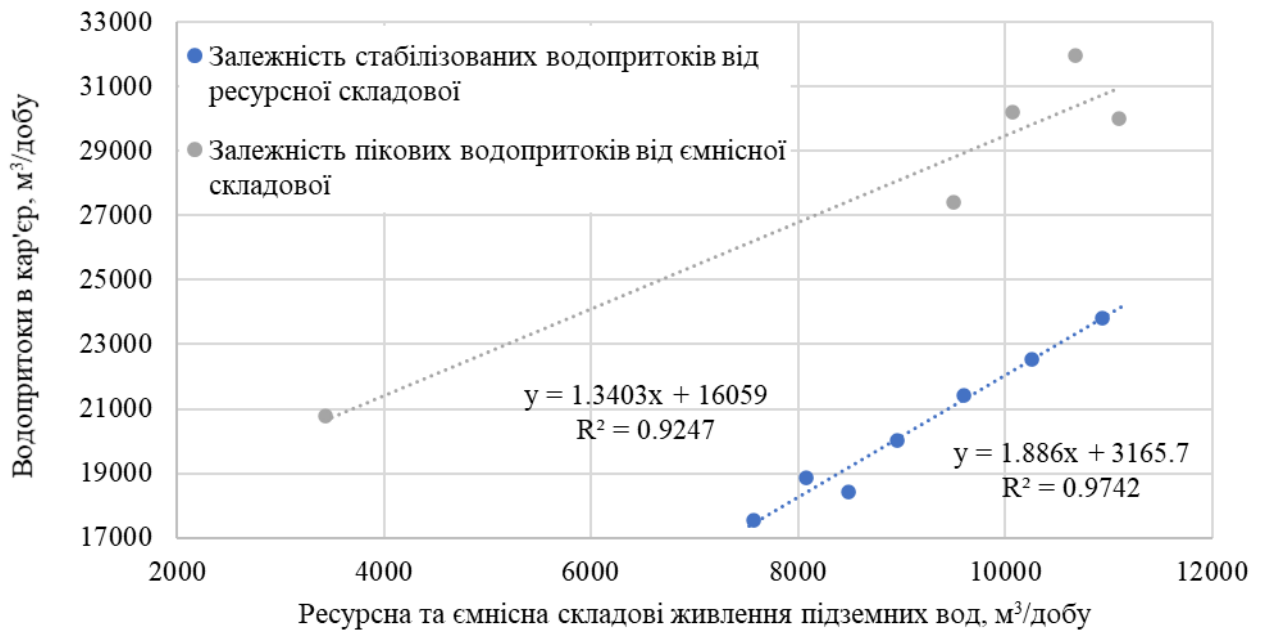


Рисунок 2.41 – Залежність кар'єрних водопритоків від складових балансу модельованої області про входженні північного борту кар'єру в зону зрушень

При цьому загальний водоприток у кар'єр визначається головним чином притоком з рудно-кристалічної зони північного борту кар'єру та збільшується при розвитку гірничих робіт з 63% (при розкритті горизонту –180 м) до 77% (при розкритті горизонту –300 м) для пікових водопритоків та відповідно 58...70% для стабілізованих водопритоків.

Отримані закономірності у формуванні гідродинамічного режиму досліджуваної території дозволяють прогнозувати розвиток локально напірного стану підземних вод на ділянках бортів кар'єру, що визначається величинами в діапазоні 6,0...15,0 м, та враховувати його при оцінці змін геомеханічної стійкості породних масивів, у тому числі в умовах входження робочого борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок.

2.4 Висновки

Обґрунтована загальна гідродинамічна схема Інгулецького родовища та розроблені чисельні геофільтраційні моделі, що враховують особливості геолого-гідрогіологічної будови залізорудного родовища в межах східного та західного бортів кар'єру, а також ділянки входження північного борту кар'єру в зону провалів і зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна».

За результатами оцінки розрахункових водопритоків до східного борту діючого кар'єру на різні періоди відпрацювання залізорудного родовища встановлена залежність їх величин від гіпсометричного положення подошви шару різнозернистих гравелистих пісків в межах контуру їх розкриття бортом кар'єру.

Отримана залежність кар'єрних водопритоків від геоструктурних особливостей родовища дозволяє з високим рівнем достовірності ($R^2 = 0,683$) виконувати картування ділянок з аномальними величинами водопритоків та пов'язаних з ними порушень гідргеомеханічного стану породних масивів.

За даними вирішення обернених задач встановлено, що в умовах входження північного борту кар'єру в зону зрушень шахти «Центральна» суттєві зміни у величинах водопритоків і положенні рівнів підземних вод, які зафіксовані спостереженнями, пов'язані з підвищеною гідравлічною проникністю ділянки відпрацьованих підземних виробок 1-го підповерху гор. -260,0, яка може бути охарактеризована еквівалентною величиною коефіцієнта фільтрації на рівні 60,0 м/добу.

Встановлена за результатами прогнозного моделювання динаміка кар'єрних водопритоків свідчить про збереження отриманих за даними вирішення обернених задач особливостей гідродинамічного режиму, які полягають у послідовному зростанні водопритоків відповідно до періодів входження північного борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна».

При умовно миттєвому розкритті робочими горизонтами кар'єру зони

провалів і зрушень приріст водопритоків на величину до 15,0...55,0 %, що приймаються на кінець періоду 30 діб після розкриття зони зрушень, відбувається за рахунок ємнісних запасів порушених гірських порід, а їх досить швидке зниження (протягом кількох місяців) зумовлене високою гідравлічною проникністю порід в межах ділянок провалів і зрушень від підземних гірничих виробок.

Поряд із циклічністю в часовому розподілі прогнозних водопритоків встановлена загальна тенденція до зростання кар'єрних водопритоків, що відбувається за рахунок посування північного борту кар'єру і зниження відміток контуру дренажування підземних вод у порушеній гірничими роботами зоні.

Доля ємнісної складової у загальному балансі кар'єрних водопритоків за даними розрахунків складає близько 4,3...8,4 %, однак, її роль суттєво зростає при прогнозованому розкритті гірничими роботами зони провалів і зрушень шахти «Центральна». Так, при розкритті горизонтом $-180,0$ м зони підземних гірничих виробок гор. $-260,0$ м шахти «Центральна» приріст кар'єрного водопритоку згідно з результатами розрахунків, практично повністю забезпечується ємнісними запасами підземних вод, доля яких у загальному балансі водопритоків зростає до 30,1...37,9 %.

Отримані закономірності у формуванні рівневого режиму підземних вод і пов'язаних з ним кар'єрних водопритоків дозволяють врахувати вплив гідравлічної складової, який визначається розвитком локально підпірного стану підземних вод в бортах кар'єру і характеризується величинами гідравлічних напорів в межах 6,0...15,0 м, на гідрогеомеханічну стійкість порушених гірничими роботами породних масивів.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕОТЕХНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕНИХ МАСИВІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

3.1 Процедура розрахунку гідрогеомеханічного стану породних масивів

Для оцінки гідрогеомеханічної стійкості породних масивів застосована реалізована у програмному комплексі PHASE2 деформаційна пружно-пластична модель середовища з внутрішнім тертям, що поєднує дві теорії, на яких базується сучасна механіка гірських порід: теорію пружності і теорію граничного стану [119].

Процедура чисельного рішення в методі кінцевих елементів заснована на передумові силової взаємодії між елементами модельованої області тільки у вузлових точках [89]. При цьому умова безперервності середовища задовольняється нерозривністю вузлових зав'язків між елементами.

Деформування елементів обумовлене прикладанням з боку сусідніх елементів чи зовнішніх впливів вузлових сил F_i , F_j , F_k , кожна з яких розкладається на дві складові уздовж координатних осей. Залежність шести компонентів вузлових сил від шести компонентів вузлових переміщень встановлена виходячи з відомого в будівельній механіці принципу можливих переміщень: при нескінченно малому переміщенні вузлових точок робота вузлових сил повинна дорівнювати роботі внутрішніх напружень.

Результатом чисельного рішення є встановлення переміщень вузлів моделі виходячи з заданих вузлових сил, обумовлених зовнішнім навантаженням і власною вагою елементів моделі. За встановленими значеннями переміщень розраховуються осьові і головні деформації і відповідні їм напруження.

У скороченій формі рівняння кінцевих елементів може бути представлено у вигляді:

$$[K]\{a\} = \{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} + \{F_g\}, \quad (3.1)$$

де $[K]$ – матриця жорсткості; $\{a\}$ – вектор вузлових переміщень; $\{F\}$ – вектор

вузлових навантажень; $\{F_b\}$ – власна вага ґрунту; $\{F_s\}$ – сили поверхневого тиску; $\{F_n\}$ – зосереджена вузлова сила; $\{F_g\}$ – навантаження від сейсмічних коливань.

Матриця жорсткості визначається наступним чином:

$$[K] = \int_v [B]^T [C] \cdot [B] dv, \quad (3.2)$$

де $[B]$ – матриця «напруження-деформації»; $[C]$ – матриця пружності.

Вектор деформацій визначається з наступного виразу:

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad (3.3)$$

де u, v – вузлові переміщення в напрямках осей X і Y відповідно.

Вектор деформації також визначається складовими:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.4)$$

Для завдання плоскої деформації ε_z дорівнює нулю, і матриця деформацій має вигляд:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

Відповідно до теорії пружності основна формула залежності напружень і деформацій має вигляд:

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \quad (3.6)$$

де $[C]$ – матриця пружності, що визначається за такою залежністю:

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

де E – модуль Юнга (модуль пружності); ν – коефіцієнт Пуассона.

Напруження обчислюються в кожній точці сітки кінцевих елементів за допомогою матриці $[C]$ наступним чином:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.8)$$

В результаті перетворення формул (3.7) і (3.8) маємо формулу для визначення напружень і деформацій:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.9)$$

Врахування граничного стану модельованого масиву гірських порід і реалізація пластичної течії в області позамежних деформацій у чисельній моделі базується на методі початкових напружень, який полягає в наступному.

Чисельне рішення досягається при початково заданих пружних властивостях середовища і постійній матриці жорсткості системи.

В умовах плоскої деформації при напруженнях у середовищі, що не перевищують заданого граничного рівня, зв'язок напружень і деформацій описується законом Гука:

$$\begin{cases} \sigma_1 = E_n (\varepsilon_1 + \nu_n \varepsilon_3) / (1 - \nu_n^2) \\ \sigma_3 = E_n (\varepsilon_3 + \nu_n \varepsilon_1) / (1 - \nu_n^2) \end{cases}, \quad (3.10)$$

де σ_1 і σ_3 – відповідно найбільше і найменше головні напруження;
 $E_n = E/(1 - \nu^2)$, $\nu_n = \nu(1 - \nu)$ – «плоскі» аналоги відповідно модуля деформації
 E і коефіцієнта Пуассона ν .

В області розтягання граничні деформації обмежуються міцністю на розтягання T ($T < 0$):

$$\sigma_3 = T, \quad (3.11)$$

а в області стискання – критерієм Кулона-Мора:

$$\sigma_1 = S + \sigma_3 \text{Ctg } \varphi, \quad (3.12)$$

де $S = 2C \text{Ctg } (45 - \varphi/2)$, $\text{Ctg } \varphi = (1 + \text{Sin } \varphi)/(1 - \text{Sin } \varphi)$; C і φ – відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя.

При виході деформованого стану елемента середовища на границю зони пружності напруження в елементі контролюються рівняннями стану, що на ділянці поза межних деформацій встановлені щодо головних напружень σ_1^T і σ_3^T :

$$\sigma_3^T = [E_n(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + S(\nu_n - 1)] / (1 - \nu_n \text{Ctg } \beta + \text{Ctg } \beta - \nu_n), \quad (3.13)$$

$$\sigma_1^T = S + \text{Ctg } \psi \sigma_3^T. \quad (3.14)$$

Кут β у рівнянні (3.13) визначає закон пластичної течії: при значенні β , встановленому для моделі рівним ψ , течія є асоційованою, що дозволяє врахувати розуцільнення порід в області поза межних деформацій.

Величини головних напружень σ_1^T і σ_3^T представляють собою відповідні досягнутому рівню деформацій теоретичні напруження, до яких прагне чисельне рішення на i -ому кроці ітераційного процесу.

Крім того, в моделі передбачена можливість дослідження областей розривів, які фіксуються на ділянках деформацій розтягнення за умовою (3.11).

Реалізований в програмному комплексі PHASE2 спільно з методом кінцевих елементів метод зниження параметрів міцності при оцінці запасу стійкості породного масиву забезпечує можливість одночасного визначення положення

поверхні ковзання і коефіцієнта стійкості при відсутності будь-яких обмежень щодо геометрії механізму руйнування.

Згідно методу, що використовується, розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості знаходиться з відношення максимально можливої міцності ґрунту до мінімального значення, необхідного для забезпечення рівноваги [114]

$$k_s = \frac{\tau_{\text{дійоч}}}{\tau_{\text{гран}}}. \quad (3.15)$$

При поданні формули (3.15) у вигляді стандартної умови Кулона-Мора вона набуває вигляду:

$$k_s = \frac{\sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi + C}{\sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_r + C_r}, \quad (3.16)$$

де C і φ – вихідні параметри міцності – відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя; σ_n – фактичне нормальне напруження; C_r і φ_r – параметри міцності, знижені в ході розрахунку до мінімальних значень, достатніх для підтримки рівноваги.

При цьому в умовах дії порового тиску розрахунок зсувної міцності ґрунту τ_r проводиться з використанням критерію міцності Кулона-Мора, поданого у вигляді:

$$\tau_r = (\sigma_n - u) \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (3.17)$$

де u – поровий тиск.

Метод зниження міцності за принципом розрахунку схожий з методом Р.Р. Чугаєва, відомим в гідротехнічному будівництві. У розрахунковій схемі прогноз руйнування здійснюється шляхом одночасного зниження обох показників зсувної міцності:

$$C_r = \frac{C}{k}, \quad (3.18)$$

$$\varphi_r = \frac{\varphi}{k}, \quad (3.19)$$

де k – коефіцієнт зниження міцності, відповідний коефіцієнту стійкості в момент руйнування.

Перевагою використання методу зниження міцності є його єдність з іншими можливостями чисельного моделювання, що дозволяє прийняти до уваги занурену частину укосів при розрахунку стійкості на слабких (стисливих) ґрунтах з урахуванням процесів консолідації основи і його зміцнення, а також виконувати розрахунок стійкості з урахуванням надлишкового порового тиску, що формує «відпір» в центральній частині укосів і сприяє зниженню їх стійкості.

3.2 Розробка і параметризація об'єктних геомеханічних моделей техногенно навантажених породних масивів

3.2.1 Ділянка навантаженого породним відвалом борту кар'єру

При оцінці гідрогеомеханічної стійкості північно ділянки східного борту кар'єру в межах розташування породного відвалу № 3 до розрахунку прийняті два перерізи в м.о. 63...85/66...68 і 63...85/73...74 в напрямку найбільш ймовірного розвитку деформаційних процесів зсувного характеру.

Для встановлення стану породного масиву, навантаженого складованими у відвал породами, що передували зсувам в межах м.о. 63...67/72...76, до розгляду було прийнято положення уступів східного борту кар'єру і укосів породного відвалу без врахування скельного привантаження, зведеного згідно з проектом ліквідації зсуву 1993 р. в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ м (рис. 3.1, 3.2 і 3.3).

Геометричні розміри розрахункових моделей визначені за умови мінімізації впливу їх контурів на напружено-деформований стан модельованої області і охоплюють ділянку східного борту кар'єру в інтервалі відміток $-55,0...81,7$ м з урахуванням товщі складованого у відвал № 3 породного матеріалу загальною протяжністю 1140 м.

Просторова визначеність модельованої області в чисельній моделі забезпечується завданням нульових переміщень на бокових границях моделі і її ни-

жньому контуру, який відповідає положенню покрівлі кристалічного масиву. Силова взаємодія між елементами визначається гравітаційними силами в породній товщі.

Кар'єр – відвал № 3 – р. Інгулець

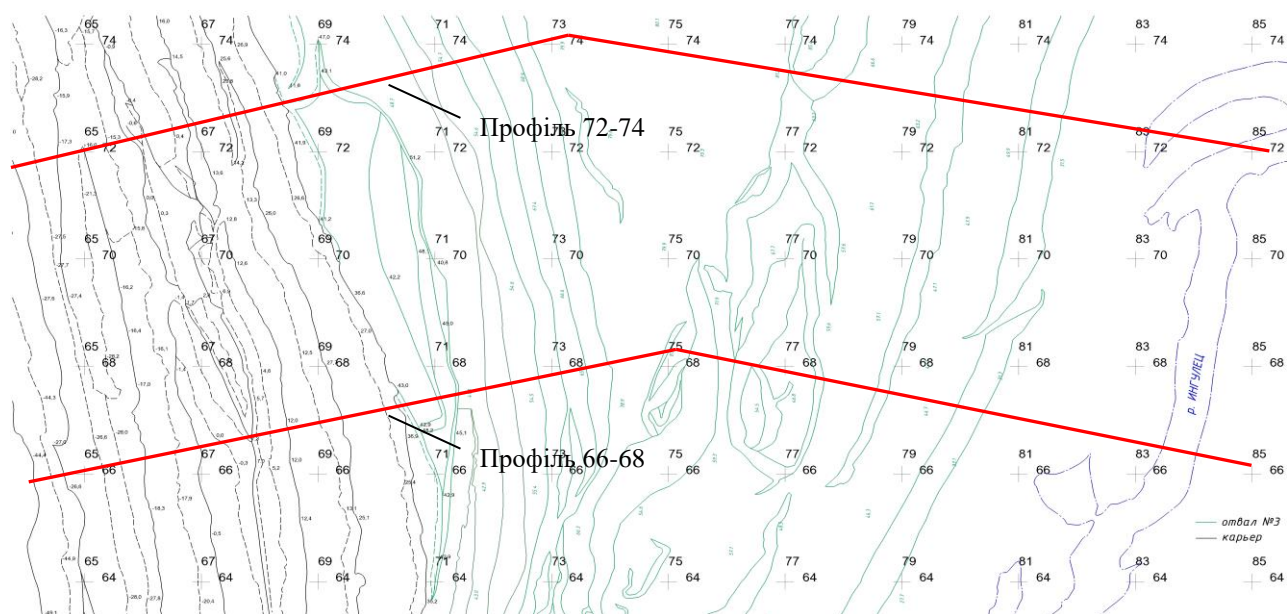


Рисунок 3.1 – Схема розташування розрахункових профілів в межах ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3

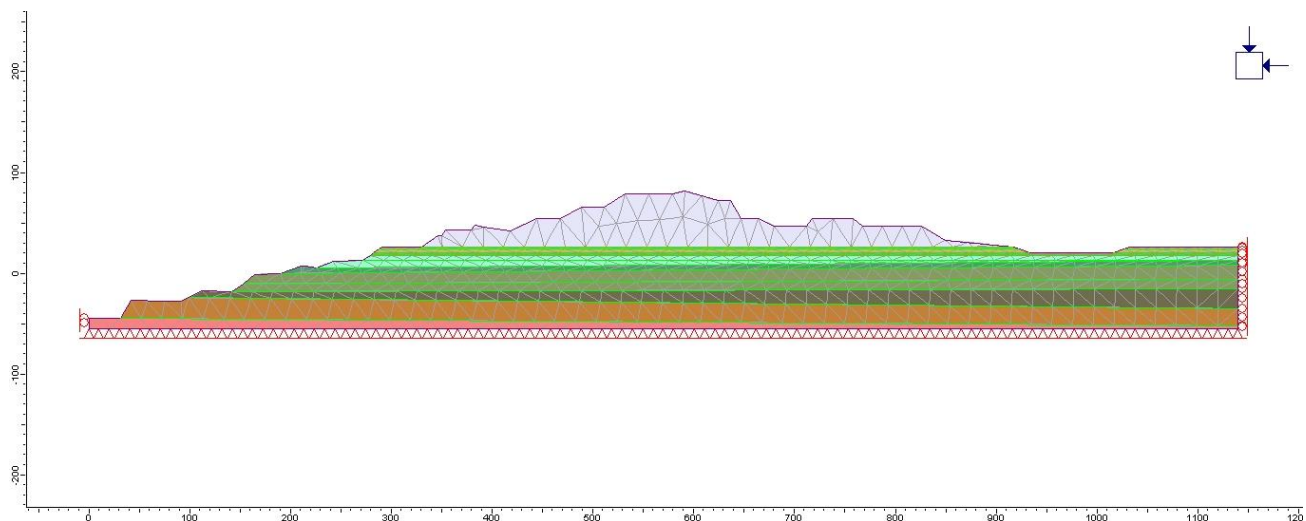


Рисунок 3.2 – Розрахункова схематизація східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в інтервалі м.о. 63...85/66...68 (характеристика шарів і розрахункові параметри наведені в табл. 3.1)

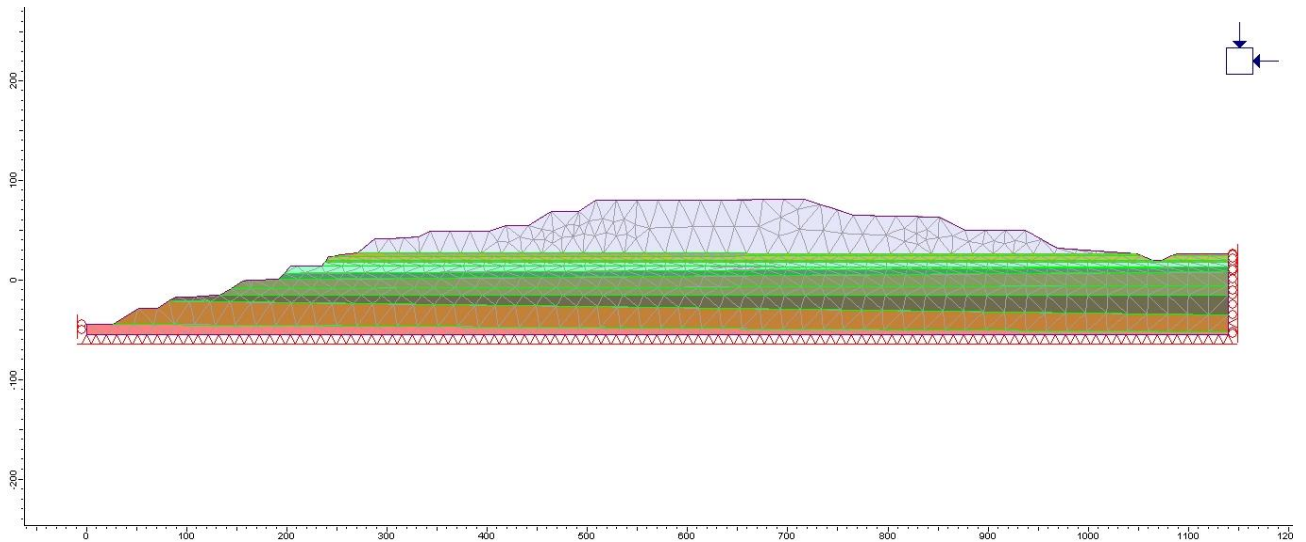


Рисунок 3.3 – Розрахункова схематизація східного борту кар’єру і породного відвалу № 3 в інтервалі м.о. 63...85/72...74 (характеристика шарів і розрахункові параметри наведені в табл. 3.1)

У загальному вигляді чисельна модель представлена трикутними шестивузловими елементами 10 типів у відповідності до геологічної будови східного борту кар’єру і структури породного відвалу № 3, а також фізико-механічних і фільтраційних властивостей гірських порід.

Значення деформаційних характеристик і характеристик міцності породного масиву і матеріалу відвалу прийняті за даними їх лабораторного і польового вивчення у відповідності до результатів досліджень, виконаних у різні роки інститутом ВІОГЕМ та ДП «ДПІ КРИВБАСПРОЕКТ» (табл. 3.1).

Слід відзначити, що за даними вишукувань в породній товщі східного борту кар’єру в межах інтервалу залягання київських глин палеогену було виділено два інженерно-геологічних елемента – ІГЕ 16 і ІГЕ 17 відповідно у верхній і нижній частині шару глин, які суттєво відрізняються за своїми характеристиками міцності.

Згідно з даними лабораторних визначень пониженими значеннями параметрів міцності характеризується нижня частина розрізу київських глин, що може бути результатом її перезволоження за рахунок обводнених прошарків вугілля і пісків в покрівлі відкладень бучацького ярусу.

Порівняно з даними ВІОГЕМ при проведенні вишукувань ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ» (2015) відбулося уточнення характеристик фізико-механічних властивостей літологічних різностей порід, значення яких прийняті в якості розрахункових при створенні чисельних геомеханічних моделей східного борту кар'єру.

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення фізико-механічних характеристик порід основи і матеріалу відвалу східного борту Інгулецького кар'єру для довірчої ймовірності $\alpha=0,95$ (за даними ДП «ДП КРИВБАСПРОЕКТ», 2015)

Номер типу елемента	Найменування	Питома вага, γ , кН/м ³	Модуль деформації, E , кПа	Коефіцієнт Пуассона, ν , дол. ед.	Питоме зчеплення, C , кПа	Кут внутрішнього тертя, φ , град
1	Гірська маса змішаного складу Q_{tg}	22,8	25000	0,30	36,0	16,0
2	Скельні розкривні породи Q_{tg}	25,1	25000	0,30	20,0	35,0
3	Суглинки і супіски жовтувато-бурі Q_4	18,1	9450	0,30	6,0	22,5
4	Суглинки сірувато-бурі Q_{2-3}	18,1	9475	0,30	7,5	21,7
5	Глини Q_1	19,9	15600	0,35	15,0	22,9
6	Піски Q_1	21,2	40000,0	0,30	2,0	30,9
7	Глини P_{kv} (верх)	17,1	13900	0,35	13,4	15,0
8	Глини P_{kv} (низ)	17,1	13900	0,35	42,0	21,8
9	Глини P_{bc}	14,5	12000	0,30	28,0	13,3
10	Кора вивітрювання $MZ-KZ$	20,4	23900	0,30	19,0	24,1
11	Сланці PR_1	30,4	$132 \cdot 10^6$	0,28	34040,0	34,5

За даними цих вишукувань більш низькими значеннями параметрів міцності характеризуються глинисті відкладення в покрівлі буцацького ярусу. Очевидно, що в даному випадку, як і у випадку київських глин (ВІОГЕМ, 1989), значну роль відіграє наявність водонасичених прошарків вугілля і пісків безпосередньо на контактних відкладеннях.

Таблиця 3.2 – Нормативні та розрахункові показники опору зрізу порід східного борту Інгулецького кар'єру (ВІОГЕМ, 1989)

Найменування породи	Стратиграфічний індекс	Номер інженерно-геологічного елемента	Вид випробування: II – повільний III – швидкий	Кількість точок	Коефіцієнт кореляції	Нормативні			Розрахункові						
						Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа	$\alpha=0,95$			$\alpha=0,99$			
									Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа	Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа	
Суглинки Суглинки піщані	Q_{dIV}	2	II	37	0,918	0,4243	23	0,0344	0,3719	20	0,0258	0,3488	19	0,0130	
			III	37	0,968	0,3553	20	0,0169	0,2973	17	0,0102	0,2717	15	0,0146	
		4	II	6	0,975	0,5250	28	0,0492	0,4077	22	0,0300	0,3352	19	0,0182	
			III	6	0,883	0,4667	25	0,0052	0,2263	13	0,0344	0,0766	4	0,0588	
Червоно-бурі глини Червоно-бурі піщано-глинисті породи Червоно-бурі суглинки	$N_2^3-Q_1$	5	II	6	0,984	0,3937	21	0,0827	0,3244	18	0,0714	0,2816	16	0,0644	
			III	6	0,987	0,2750	15	0,0217	0,2315	13	0,0146	0,2046	12	0,0124	
		6	II	6	0,981	0,4875	26	0,0821	0,3932	21	0,0667	0,3349	19	0,0571	
			III	6	0,898	0,4125	22	0,0096	0,2165	12	0,0224	0,0956	5	0,0419	
		7	II	3	0,951	0,2874	16	0,0470							
			III	3	0,977	0,2000	11	0,0300							
Глинисті породи	N_{1S}	13	II	3	0,961	0,3000	17	0,0900							
			III	3	0,964	0,2775	16	0,0454							
Глини верхній пласт Глини	P_{kv}	16	II	60	0,914	0,3890	21	0,0714	0,3511	19	0,0652	0,3348	16,5	0,0626	
			III	60	0,812	0,3200	18	0,0216	0,2696	15	0,0134	0,2478	14	0,0098	
		17	II	12	0,821	0,2031	11	0,0682	0,1238	7	0,0552	0,0838	5	0,0487	

Найменування породи	Стратиграфічний індекс	Номер інженерно-геологічного елемента	Вид випробування: П – повільний Ш – швидкий	Кількість точок	Коефіцієнт кореляції	Нормативні			Розрахункові					
						Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа	$\alpha=0,95$			$\alpha=0,99$		
									Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа	Коефіцієнт тертя, $tg\varphi$	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Питоме зчеплення C , МПа
нижній пласт			Ш	12	0,837	0,1625	9	0,0183	0,1026	6	0,0085	0,0723	4	0,0036
Глини вуглисті Піщано-глинисті породи Прошарки глин в бурому вугіллі	P_{bc}	20	П	21	0,930	0,3999	22	0,0549	0,3374	19	0,0448	0,3084	17	0,0401
			Ш	22	0,777	0,2951	16	0,0284	0,2034	11	0,0139	0,1611	9	0,0072
		21	П	5	0,988	0,5125	27	0,0437	0,4230	23	0,0303	0,3631	20	0,0213
			Ш	5	0,934	0,4321	23	0,0296	0,2397	13	0,0008	0,1108	6	0,0180
			22	П	17	0,892	0,4141	22	0,0747	0,3404	19	0,0629	0,3054	17
Ш	17	0,882		0,3494	19	0,0195	0,2655	15	0,2256	0,2256	13	0,0003		
Кора вивітрювання гідролюди то-каолінова Кора вивітрювання каоліно-гідролюдиста	P_z-M_z	23	П	20	0,978	0,4154	23	0,0373	0,3792	21	0,0314	0,3624	20	0,0288
			Ш	21	0,959	0,4093	22	0,0112	0,3615	20	0,0037	0,3393	19	0,0002
		24	П	33	0,987	0,5375	28	0,0361	0,5113	27	0,0318	0,4996	27	0,0299
			Ш	33	0,974	0,4591	25	0,0118	0,4269	23	0,0650	0,4126	22	0,0042

До однієї з причин обводнення контакту київських і бучацьких глин можна віднести надходження води із алювіального водоносного горизонту, що може відбуватися завдяки наявності блочної будови київських глин в межах порушеного масштабним зсувом 1993 р. контуру північно-східного борту кар'єру.

Слід відзначити, що наведені дані відносно ослаблених інтервалів породної товщі не суперечать фактичним даним щодо особливостей зсувного деформування в межах північно-східного борту кар'єру, згідно яким положення імовірних поверхонь зсувів в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ м у більшості випадків співпадає з положенням контакту відкладень київського і бучацького ярусів палеогенового віку.

Наявність знеміцненої зони в товщі київських глин, що залягають у підодшві алювіального водоносного горизонту в інтервалі уступу $+12,0/\pm 0,0$ м, враховувалось введенням в розрахунок понижених значень питомого зчеплення C і кута внутрішнього тертя φ , які встановлені за даними випробувань в умовах швидкого зрізу і складають відповідно $C = 13,4$ кПа і $\varphi = 15^\circ$ (див. табл. 3.1)

Методика моделювання та розробка прогнозу передбачала рішення прямих геомеханічних задач, які на першому етапі полягали в оцінці напружено-деформованого стану ґрунтового масиву в зоні впливу породного відвалу. На цьому етапі за результатами рішення профільної геофільтраційної задачі визначався розподіл гідравлічних напорів в межах модельованої області і встановлювалися відповідні їм величини порового тиску, а потім виконувався розрахунок напружено-деформованого стану породного масиву.

На другому етапі проводилася оцінка запасу стійкості східного борту кар'єру спільно з використанням в розрахунковій схемі методом зниження параметрів міцності, згідно якому значення коефіцієнта запасу стійкості відповідає коефіцієнту зниження міцності на момент руйнування.

Що стосується розвитку зсувних процесів, то основним критерієм втрати стійкості навантаженого ґрунтового масиву за даними чисельного моделювання був інтенсивний розвиток зон пластичного деформування, що супроводжувався

необмеженим ростом зсувних деформацій за відсутності збіжності ітераційного процесу.

3.2.2 Ділянка входження борту кар'єру в зону зрушень від підземних гірничих виробок

Оцінка гідрогеомеханічного стану північного борту кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» виконана для ділянки входження його в зону зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна» в межах ліцензійної площі. Для дослідження стану породного масиву до розгляду були прийняті фактичне положення уступів північного борту кар'єру в його північно-західній частині та їх прогнознi положення, які відповідають граничним контурам залізорудного кар'єра.

Геометричні розміри чисельної моделі визначені за умови мінімізації впливу її контурів на напружено-деформований стан модельованої області і охоплюють ділянку північного борту кар'єру в інтервалі абсолютних відміток +70,0...–660,0 м з рахуванням рельєфу денної поверхні загальною протяжністю 2400 м. Просторова визначеність модельованої області в чисельній моделі забезпечувалась завданням нульових переміщень на бокових границях моделі та її нижньому контурі з урахуванням проектованої глибини ведення гірничих робіт.

Як і у випадку навантаженого породним відвалом борту кар'єру чисельна модель представлена трикутними шестивузловими кінцевими елементами 3 типів у відповідності до геологічної будови північного борту кар'єру і фізико-механічних властивостей гірських порід.

Значення деформаційних характеристик і характеристик міцності осадових відкладень, кристалічного масиву і породного матеріалу в зоні провалів і зрушень прийняті за даними лабораторного і польового вивчення у відповідності до результатів досліджень, виконаних на об'єкті у різні роки.

Для піщано-глинистих порід осадової товщі в межах північного борту кар'єру прийняті середньозважені значення показників щільності, питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя, які для ділянки, що розглядаються, згідно з даними вишукувань відповідно становлять: $\gamma_{c3} = 2300 \text{ кг/м}^3$, $C_{c3} = 0,010 \text{ МПа}$, $\varphi_{c3} = 24,0^\circ$.

Для оцінки стійкості уступів північного борту кар'єру в скельних породах за основу прийняті розрахункові показники міцності породного масиву, визначені в залежності від його структурного ослаблення. Так, при середній величині коефіцієнту структурного ослаблення, рівній 0,0307, розрахункове значення питомого зчеплення, визначене відповідно до нормативних показників міцності скельних порід склало у сланцях 0,78 МПа, у залізистих породах – 1,50 МПа.

Для поверхонь ослаблення і тріщин сколювання в зоні зрушень показники питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя у сланцевих і залізистих породах відповідно до дослідних даних характеризуються: за нашаруванням в сланцевих $C = 0,156 \text{ МПа}$, $\varphi = 29,0^\circ$; по тріщинах сколювання у сланцевих $C = 0,180 \text{ МПа}$, $\varphi = 33,0^\circ$; за нашаруванням у залізистих $C = 0,155 \text{ МПа}$, $\varphi = 31,0^\circ$; по тріщинах сколювання в залізистих $C = 0,256 \text{ МПа}$, $\varphi = 29,0^\circ$.

При визначенні розрахункових значень питомої ваги скельних порід прийнята їх щільність в умовах природного залягання, яка за даними вишукувань становить $3090,0 \text{ кг/м}^3$ для сланцевих порід і $3380,0 \text{ кг/м}^3$ для залізистих.

Прийняті до розрахунку значення фізико-механічних властивостей осадових відкладень, скельних порід і порушеної зони наведені в табл. 3.3.

Методикою моделювання передбачалось вирішення прямих геомеханічних задач, які на першому етапі полягали в оцінці напружено-деформованого стану гірського масиву, порушеного відкритими і підземними гірничими роботами. На цьому етапі визначався розподіл гідравлічних напорів в межах моделюваної області і встановлювалися відповідні їм величини порового тиску, а потім виконувався розрахунок напружено-деформованого стану породного масиву.

Таблиця 3.3 – Розрахункові фізико-механічні характеристики чисельної гідрогеомеханічної моделі західної ділянки північного борту кар'єру

Номер типу елемента	Найменування	Позначення	Питома вага, γ , кН/м ³	Модуль деформації, E , кПа	Коефіцієнт Пуассона, ν , дол. од.	Питоме зчеплення, C , кПа	Кут внутрішнього тертя, φ , град
1	Осадова товща		22,6	12000,0	0,30	10,0	24,0
2	Кристалічний масив		30,3	$1,32 \cdot 10^8$	0,28	780,0	33,5
3	Зона зрушень		30,0	$1,32 \cdot 10^8$	0,28	155,0	31,0

На другому етапі проводилася оцінка запасу стійкості укосів породного борту. для чого у розрахунковій схемі використовувався метод зниження параметрів міцності, згідно з яким значення коефіцієнта запасу стійкості визначалось відповідно до коефіцієнта зниження міцності порід на момент розвитку руйнівних деформацій.

3.3 Прогнозування геотехнічної стійкості природно-техногенних масивів в умовах порушеного водообміну

Основним критерієм втрати стійкості навантаженого породного масиву за даними чисельного моделювання є інтенсивний розвиток зон пластичного деформування, що супроводжується необмеженим зростанням зсувних деформацій в межах геомеханічно нестійких ділянок модельованої області за відсутності збіжності ітераційного процесу.

Оцінка гідрогеомеханічної стійкості ділянки навантаженого породним відвалом № 3 східного борту кар'єру виконана з урахуванням особливостей гідродинамічного режиму, встановлених за даними вирішення обернених геофільтраційних задач.

Як було показано вище, гідродинамічний стан породного відвалу № 3 в межах східного борту кар'єру визначається рівнем інфільтраційного живлення в межах ділянки розташування породного відвалу і можливою наявністю шару слабопроникних ущільнених порід в його підшві.

Згідно з результатами геофільтраційного моделювання і даними інтерпретації польових геофізичних досліджень (див. розділ 2) в підшві породного відвалу існує зона обводнених слабопроникних порід з абсолютними відмітками поверхні від 22,2...24,1 до 31,4...33,7 м. Наявність обводненої зони сприяє формуванню додаткових гідравлічних напорів і надлишкового порового тиску в укосах породного відвалу № 3, які впливають на загальну гідрогеомеханічну стійкість ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу.

Для характеристики гідродинамічного стану досліджуваної ділянки в межах визначених профілів вирішена задача профільної стаціонарної фільтрації за умови інфільтраційного живлення на ділянці відвалу на рівні 50 мм/рік або $13,7 \cdot 10^{-5}$ м³/добу ($1,58 \cdot 10^{-9}$ м/с), заданих параметрах гідравлічної проникності (див. табл. 3.1) і ординарному положенні рівня води в р. Інгулець на абсолютних відмітках 22,20...22,25 м (рис. 3.4, 3.5 і рис. 3.6, 3.7).

Отриманий розподіл гідравлічних напорів в межах розрахункових профілів свідчить про формування в алювіальному водоносному горизонті і в підшві породного відвалу рівневих поверхонь, аналогічних одержаним за результатами моделювання планово-просторової фільтрації (див. розділ 2).

Для порівняльної оцінки розрахункової стійкості ділянки сполучення північно-східного борту кар'єру і укосів відвалу № 3 виконані розрахунки граничного напружено-деформованого стану за методом зниження параметрів міцності для умов необводненого породного масиву (рис. 3.8, 3.9) і в умовах розрахункового розподілу гідравлічних напорів і порового тиску (рис. 3.10, 3.11).

Отримані за результатами розрахунків значення коефіцієнтів запасу стійкості згідно з варіантами, що розглядаються, без врахування протизсувних заходів і привантаження уступів борту кар'єру, наведені в таблиці 3.4.

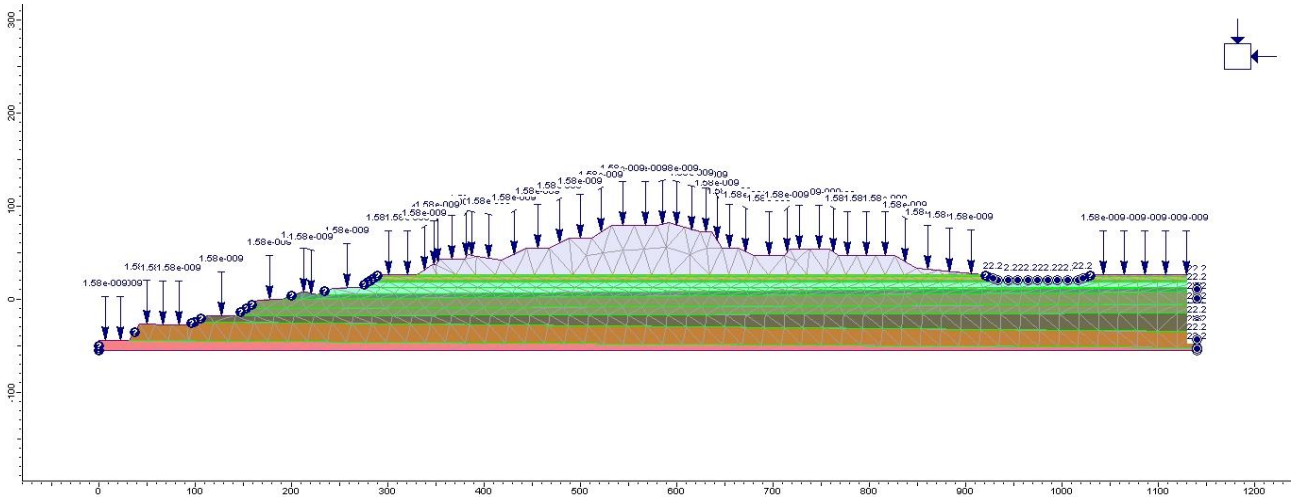


Рисунок 3.4 – Розрахункова гідродинамічна схематизація східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в інтервалі м.о. 63...85/66...68

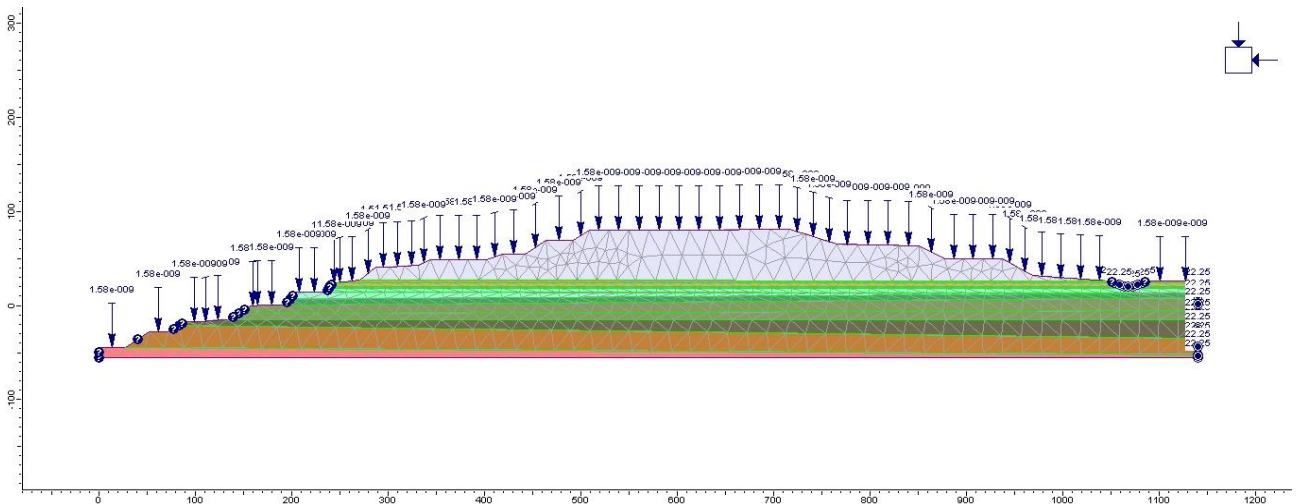


Рисунок 3.5 – Розрахункова гідродинамічна схематизація східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в інтервалі м.о. 63...85/72...74

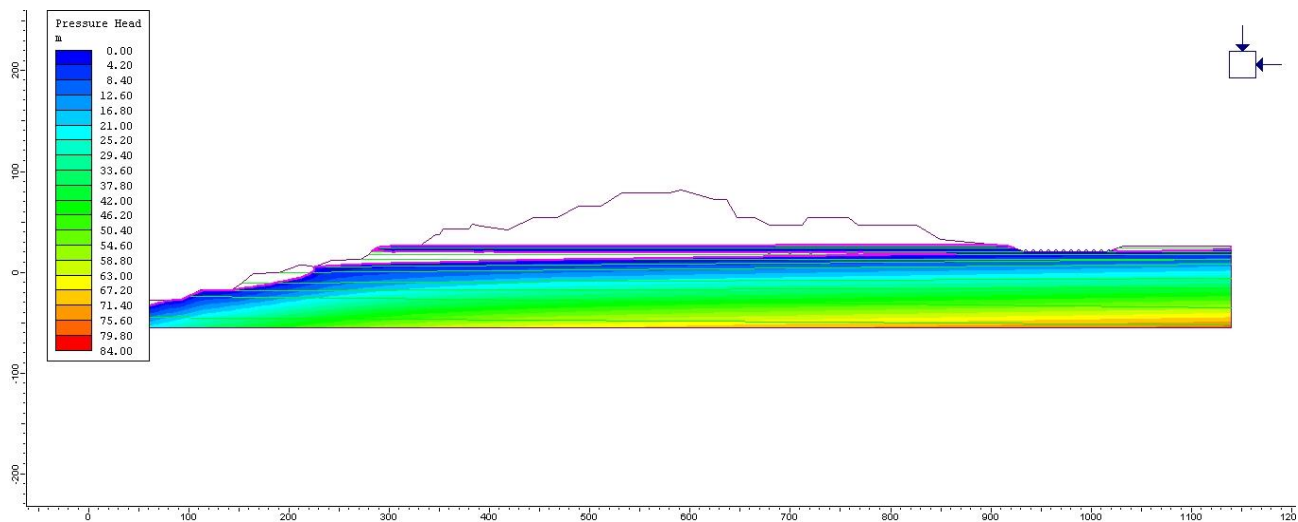


Рисунок 3.6 – Розподіл гідравлічних напорів в породному масиві в межах м.о. 66...68 за даними вирішення профільної геофільтраційної задачі, м

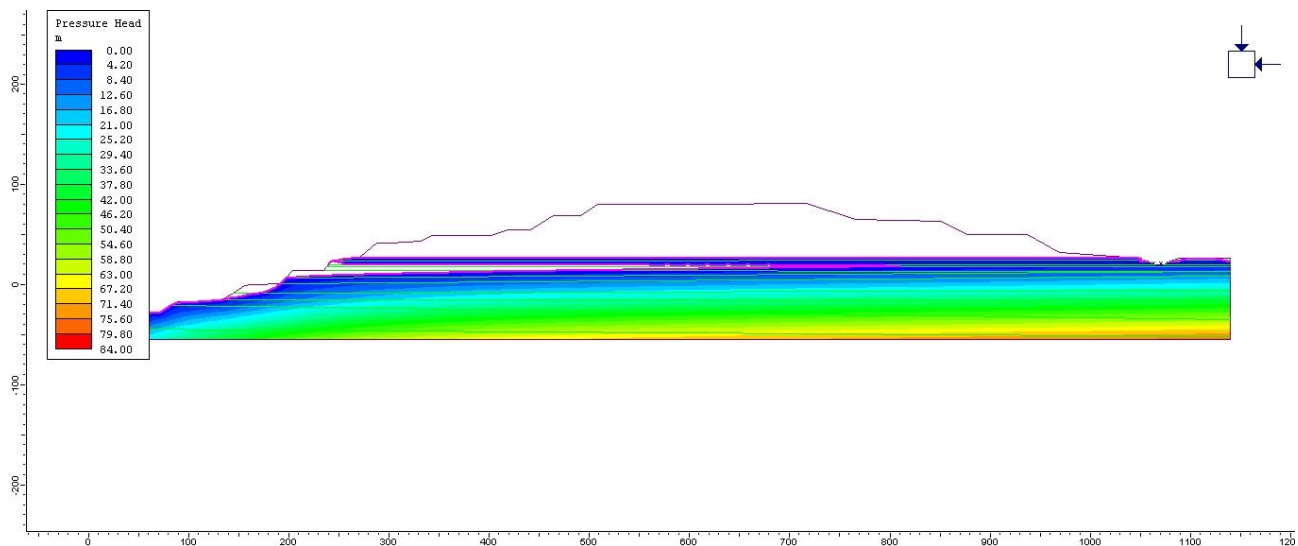


Рисунок 3.7 – Розподіл гідравлічних напорів в модельованому породному масиві в межах м.о. 72...74 за даними вирішення профільної геофільтраційної задачі, м

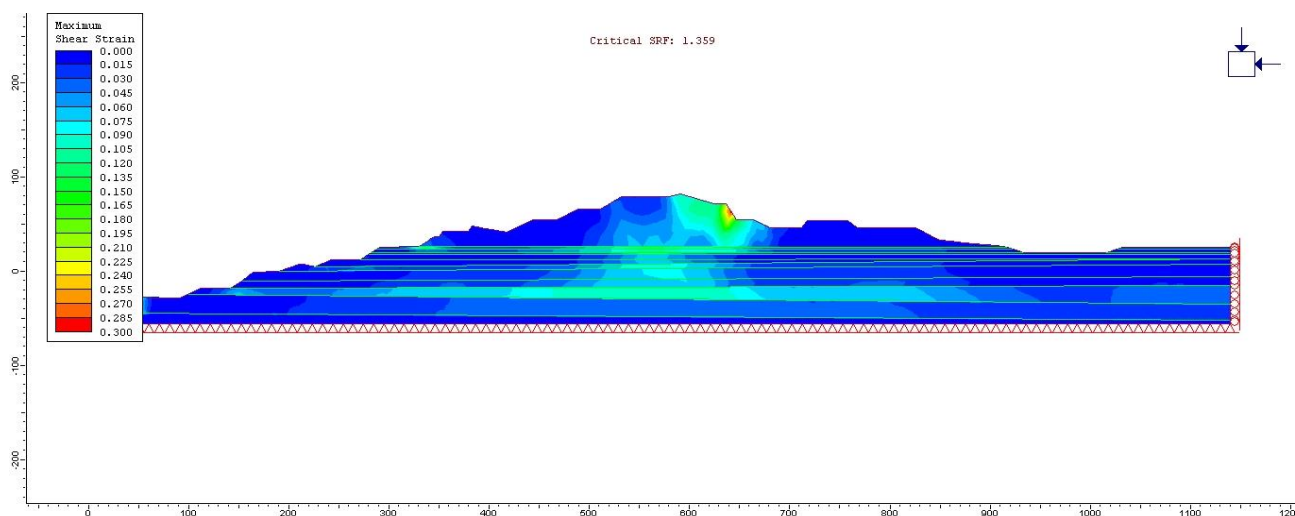


Рисунок 3.8 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 в межах м.о. 66...68 в необводненому стані, $k_s = 1,359$

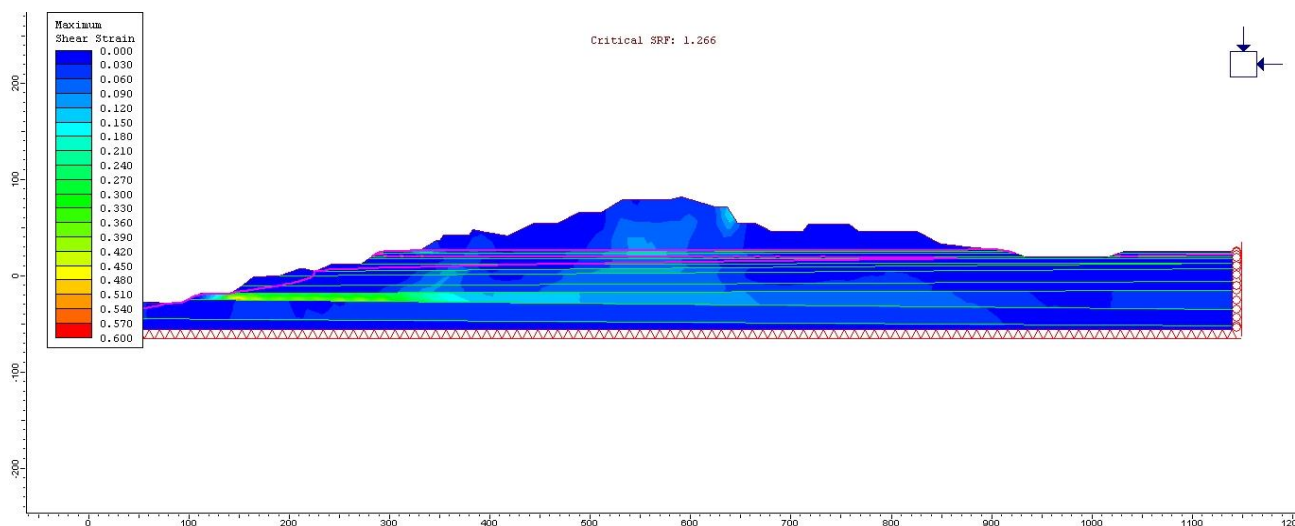


Рисунок 3.9 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 в межах м.о. 66...68 в обводненому стані, $k_s = 1,266$

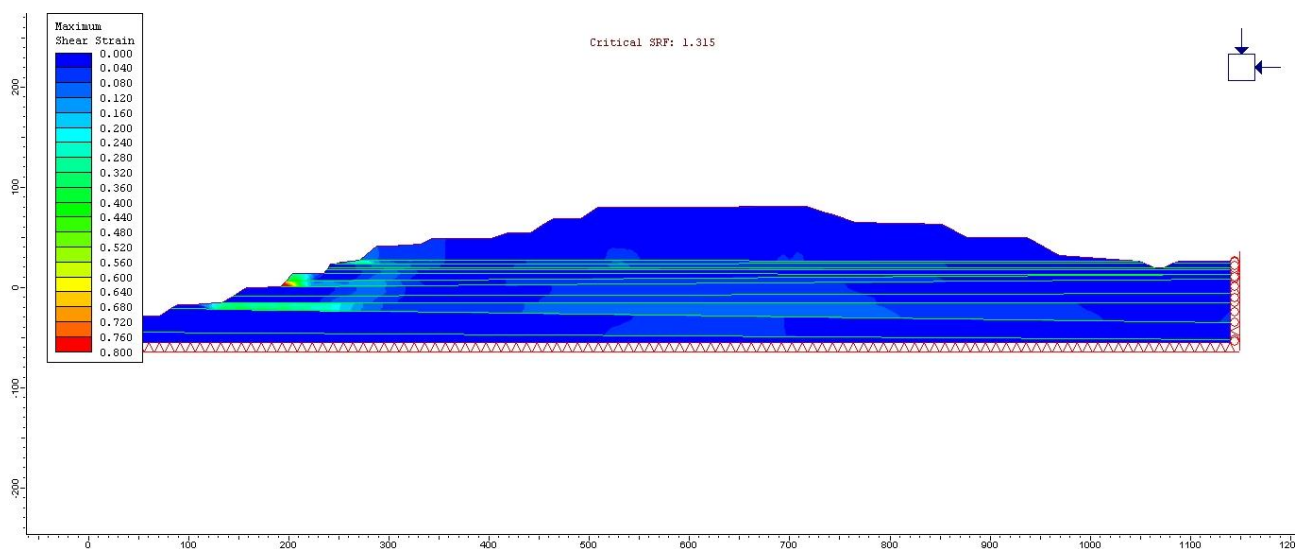


Рисунок 3.10 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 в необводненому стані, $k_s = 1,315$

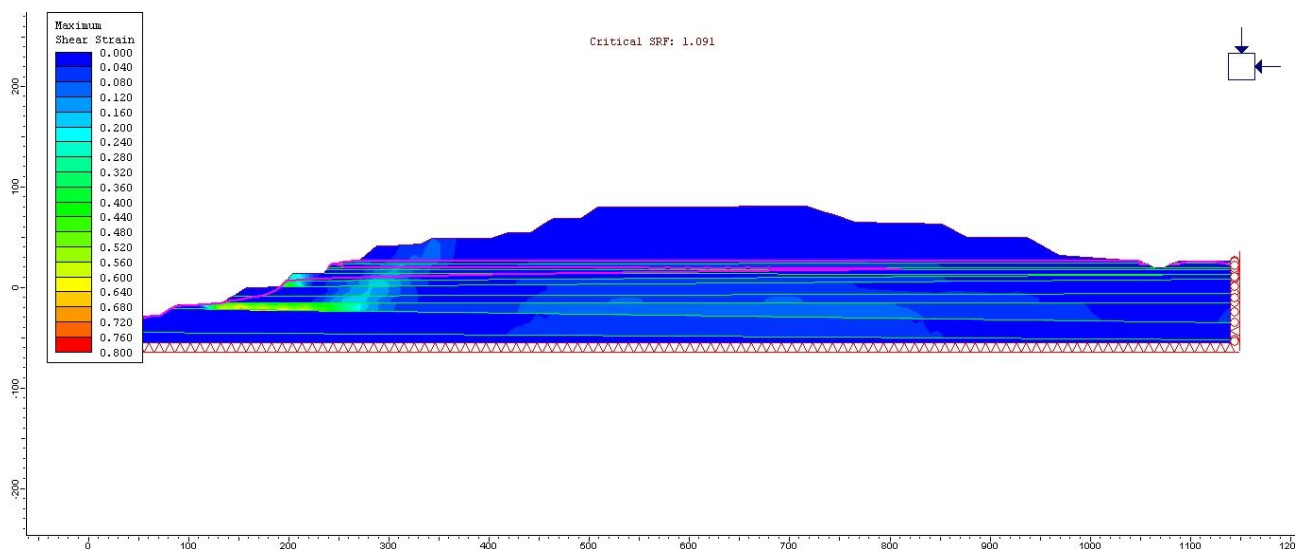


Рисунок 3.11 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 в обводненому стані, $k_s = 1,091$

Таблиця 3.4 – Розрахункові значення коефіцієнтів запасу стійкості
східного борту залізорудного кар'єру

Розрахункові варіанти	Коефіцієнт запасу стійкості, k_s , дол. од.	
	Розрахункові профілі	
	м.о. 66...68	м.о. 72...74
Необводнений породний масив	1,359	1,315
Обводнений породний масив	1,266	1,091
Обводнений породний масив з дренажно-утримуючими призмами	1,336	1,23
Розвантажений обводнений породний масив	-	1,197...1,200
Розвантажений обводнений породний масив з дренажно-утримуючими призмами	-	1,290

Аналіз результатів виконаних розрахунків показав, що напружено-деформований стан ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 характеризується вираженим формуванням зон зсувів в межах двох контурів – в межах 100-метрової ділянки з охопленням уступів відвалу +41,0 і +48,7 м, і в межах 300-метрової ділянки – в границях уступів +68,9 і +80,1 м, тобто в межах контуру, який відповідає верхній границі зсуву 1993 р.

Як в першому, так і в другому випадках стійкість досліджуваної ділянки при інших рівних умовах, як то закладення уступів борту кар'єру і укосів породного відвалу, визначається особливостями будови ділянки кар'єру і характером її обводнення.

Якщо до особливостей будови відноситься наявність ослаблених зон на контакті київських та бучацьких відкладень, а також знеміцненого інтервалу київських глин в підшві алювіального водоносного горизонту, то до характеру обводнення – ступінь водонасичення порід і характер розподілу гідравлічних напорів на контурі кар'єру.

Наявність ослаблених зон визначає положення зони потенційного розвитку зсувних деформацій, а гідравлічні напори формують «відпір» в центральній

частині призми зсуву, сприяючи зниженню гідрогеомеханічної стійкості ділянки укосу.

Зважаючи на викладене, до основних заходів, спрямованих на підвищення гідрогеомеханічної стійкості північної ділянки східного борту кар'єру, слід віднести його розвантаження на ділянці розташування породного відвалу № 3 і забезпечення дренажного водовідведення від інтервалу ослаблених порід на контакті київських та бучацьких відкладень.

При виконанні розрахунків гідрогеомеханічного стану північного контуру кар'єру розглядалося як його фактичне положення на ділянці входження в зону зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна», так і проектні положення, що відповідали граничним контурам кар'єру – у відповідності до проектів відпрацювання затверджених запасів залізорудних сировини та розвитку гірничих робіт в межах ліцензійної площі.

Положення контурів кар'єру на кінець відпрацювання було визначено згідно з робочим проектом «Комплексный проект поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки Ингулецкого месторождения. РП», 2006 р. та проектом «Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгулецького родовища з розширенням кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в межах ліцензійної площі ...», 2018 р.

П'єзометричні поверхні для всіх варіантів розрахункових профілів задавалась згідно з даними фактичних спостережень за рівневим режимом підземних вод та даними прогнозного моделювання гідродинамічного режиму порушеного гірничими роботами масиву, отриманими для умов входження північного борту кар'єру в зону зрушень шахти «Центральна».

Наведені на рис. 3.12, 3.13 та 3.14 результати розрахунків гідрогеомеханічної стійкості північного борту кар'єру в межах його північно-західної ділянки одержані для існуючого положення робочого борту кар'єру та його граничних контурів на кінець відпрацювання ПРАТ «ІНГЗК» Інгулецького залізорудного родовища

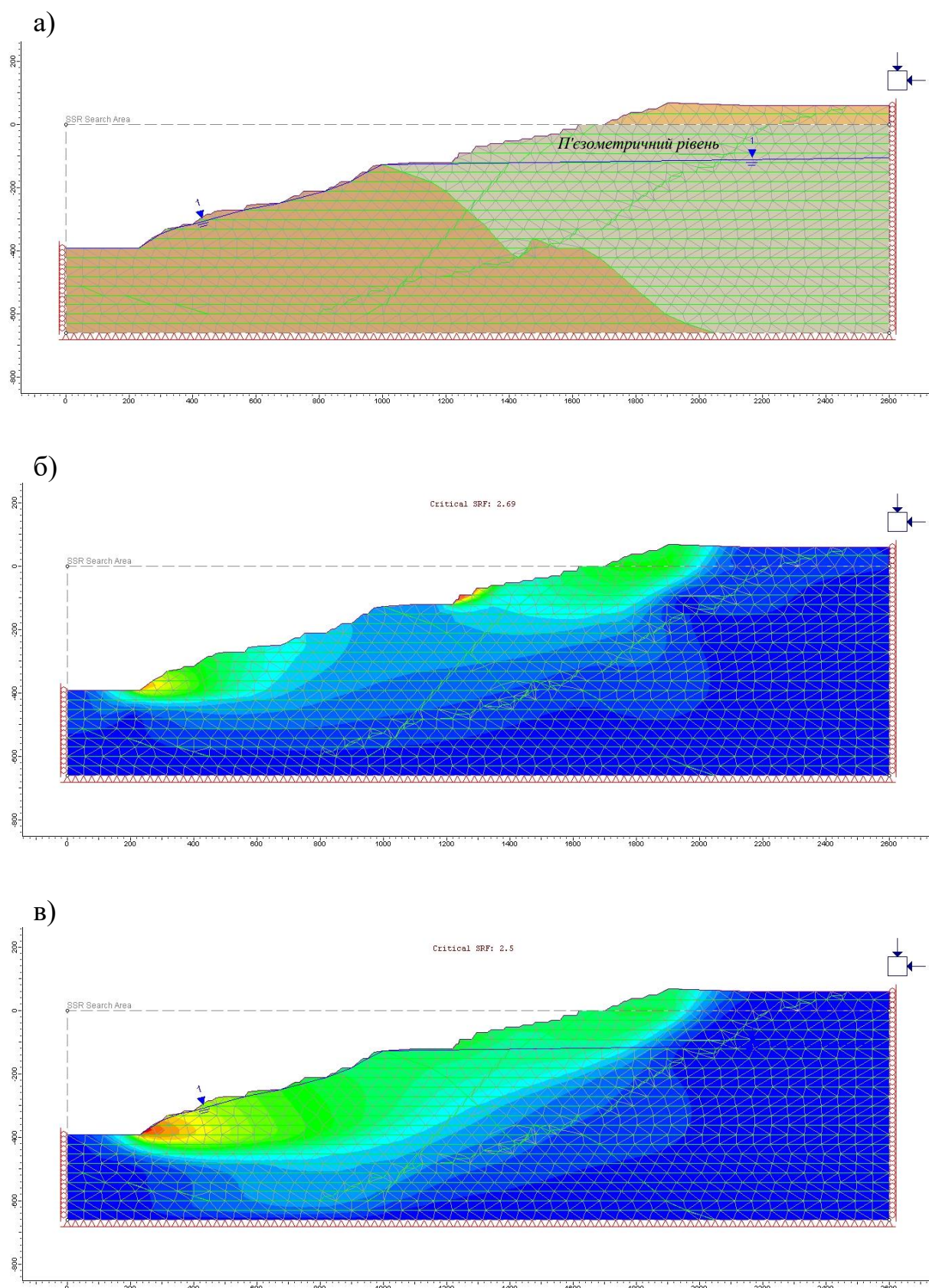


Рисунок 3.12 – Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості північного борту кар'єру в існуючих умовах: розрахункова схема (а), необводнений (б) і обводнений (в) породний масив

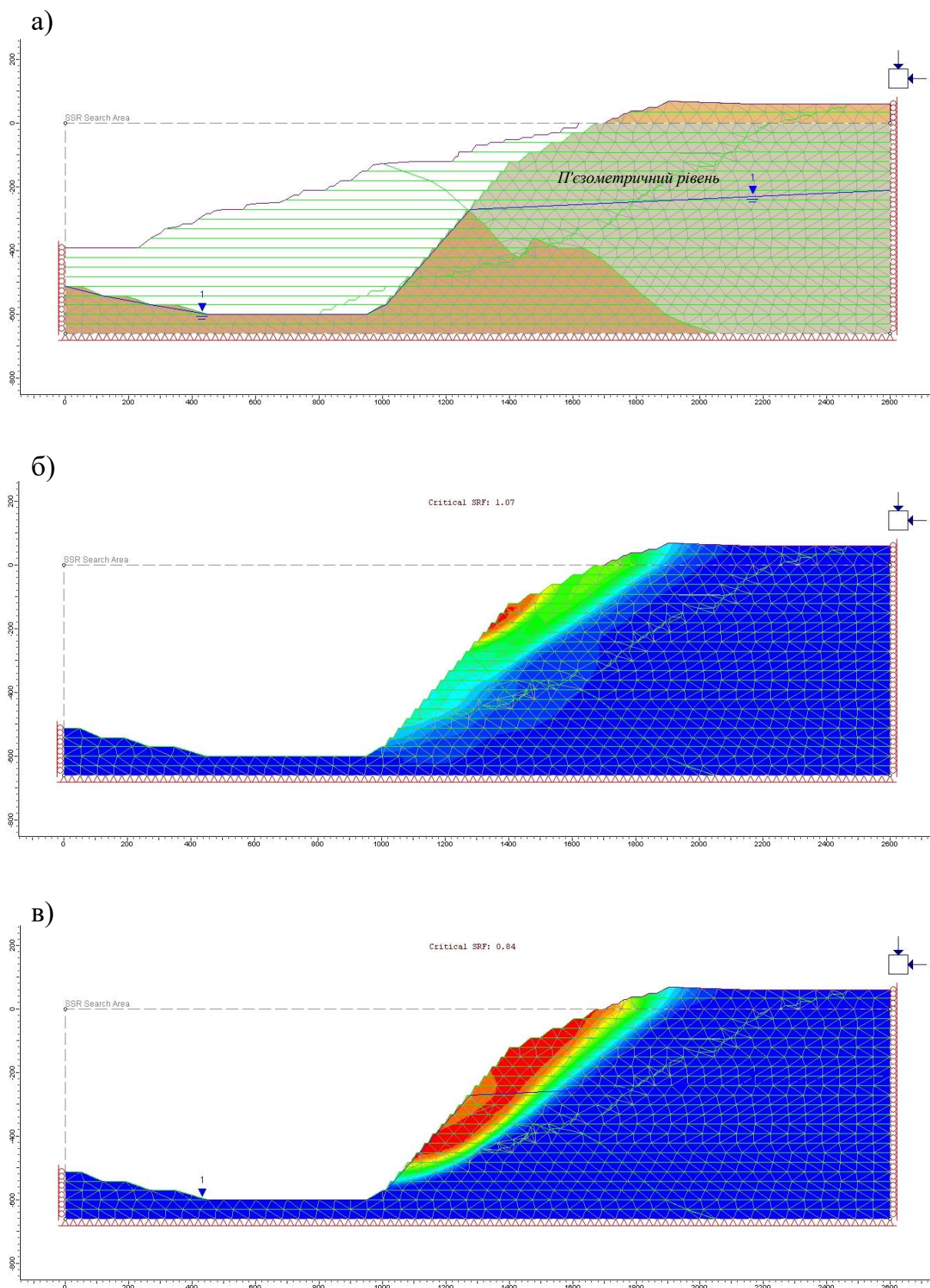


Рисунок 3.13 – Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості північного борту кар'єру при досягненні граничного контуру (проект, 2006 р.): розрахункова схема (а), необводнений (б) і обводнений (в) породний масив

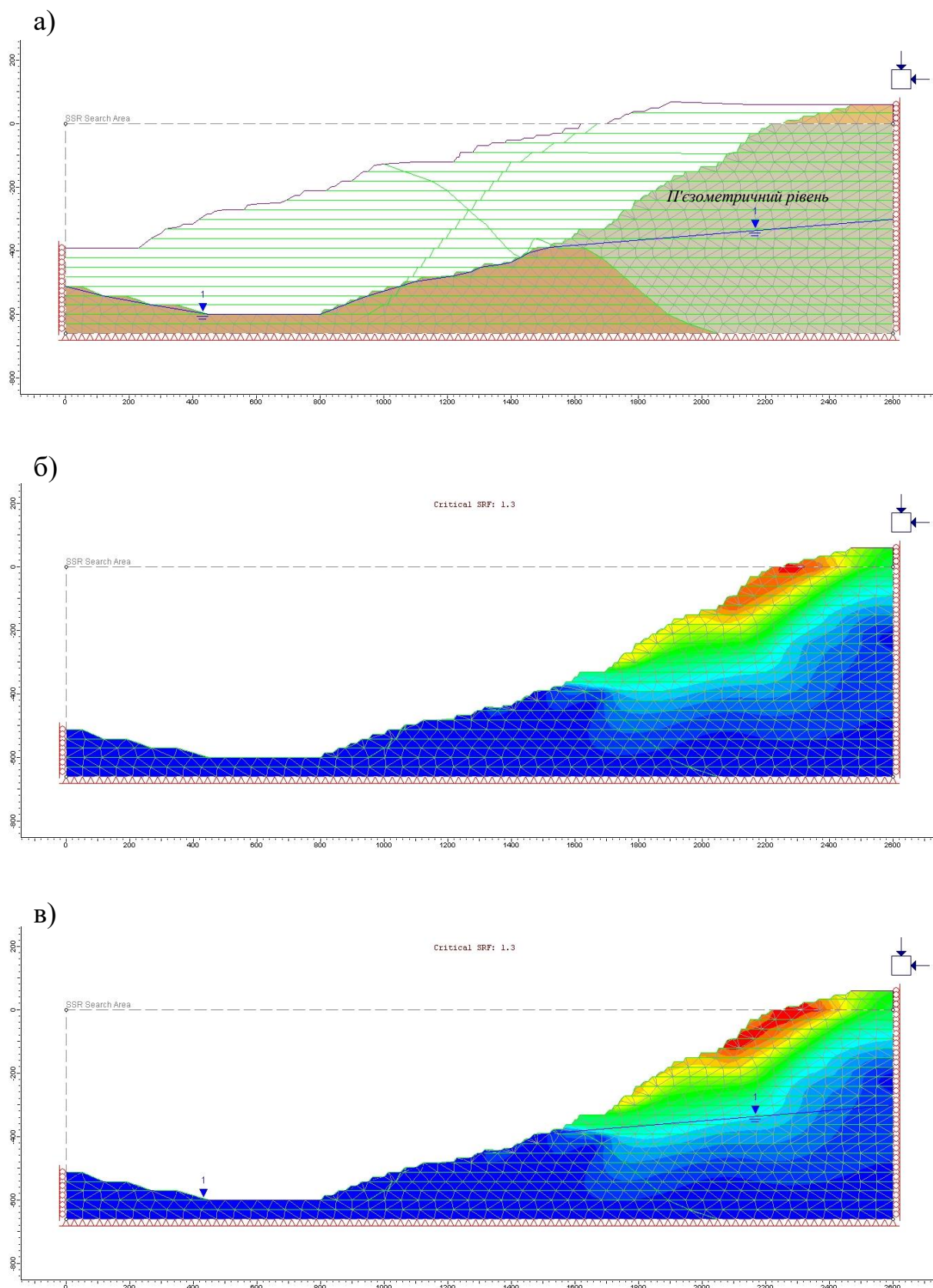


Рисунок 3.14 – Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості північного борту кар'єру при досягненні граничного контуру (проект, 2018 р.): розрахункова схема (а), необводнений (б) і обводнений (в) породний масив

Для можливості оцінки впливу гідродинамічної складової на геомеханічну стійкість породного масиву в межах північного борту кар'єру виконані також розрахунки його стану за умови відсутності обводнення породної товщі після спрацювання ємнісних запасів.

Отримані за результатами розрахунків значення коефіцієнтів запасу стійкості згідно з варіантами, що розглядаються, представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові значення коефіцієнтів запасу стійкості ділянки входження північного борту кар'єру в зону зрушень шахти «Центральна»

Розрахункові варіанти	Коефіцієнт запасу стійкості, k_s , дол. од.	
	необводнений масив	обводнений масив
Фактичне на 2019 р. положення північного борту кар'єру	2,69	2,50
Граничний контур кар'єру - комплексний проект, 2006 р.	1,07	0,84
Граничний контур кар'єру - проект, 2018 р.	1,30	1,30

Аналіз результатів виконаних розрахунків показує, що напружено-деформований стан ділянки входження північного борт кар'єру в зону зрушень характеризується стійким положенням з коефіцієнтом запасу стійкості вище нормативного – $k_s = 2,50 \dots 2,69$ для існуючого положення укосів робочого борту кар'єру. Слід відзначити, що обводнення породного масиву при встановленому положенні рівня підземних вод в межах порушеної гірничими виробками зони в цілому впливає на геомеханічний стан робочого борту кар'єру, але при отриманих значеннях коефіцієнту запасу стійкості такий вплив не є критичним (рис. 3.12, табл. 3.5).

Для граничного контуру кар'єру, який був встановлений комплексним проектом (2006 р.), величина коефіцієнту запасу стійкості породного масиву у необводненому стані не перевищує $k_s = 1,07$ (рис. 3.13, табл. 3.5), а його стійкість визначається ділянкою можливого розвитку зсувних деформацій, що відповідає положенню групи уступів на граничному контурі кар'єру в межах м.о.

39...45/82...86 і погоджується з висновками, зробленими за результатами аналогічних розрахунків, наведених в проекті ДП «ДП «КРИВБАСПРОЕКТ».

В наведених умовах при прогнозованому положенні рівня підземних вод на момент розкриття зони зрушень гор. $-300,0$ м кар'єру обводнення порушеної підземними гірничими роботами ділянки кристалічного масиву може призвести до втрати його стійкості в межах північного борту кар'єру – розрахункове значення коефіцієнту запасу стійкості за даними розрахунків не перевищує $k_s = 0,84$.

Для положення граничного контуру кар'єру, визначеного згідно з проектом 2018 р., при розвитку гірничих робіт в межах ліцензійної площі забезпечується нормативне довгострокове значення коефіцієнту запасу стійкості, рівне $k_s = 1,30$ (рис. 3.14, табл. 3.5). При цьому, стійкість породного масиву для розрахункового профілю північного борту кар'єру, який побудований у напрямку планованого розвитку гірничих робіт, визначається групою уступів, що знаходяться в інтервалі порушеного підземними гірничими роботами шахти «Центральна» масиву в межах інтервалу горизонтів $-150,0...+35,0$ м.

Це підтверджується виконаною поінтервальною оцінкою стійкості граничного контуру кар'єру в межах його північного борту відповідно для осадової товщі, порушеного підземними гірничими роботами шахти «Центральна» породного масиву в межах зони провалів і зрушень та непорушеного кристалічного масиву нижче горизонту -390 м. Згідно з отриманими результатами для визначених інтервалів значення коефіцієнту запасу стійкості становлять відповідно $k_s = 1,57, 1,30$ та $3,25$ (рис. 3.15).

Встановлене за даними виконаних розрахунків зниження запасу стійкості породних масивів у зоні впливу гідродинамічної складової на їх напружено-деформований стан, у тому числі при розкритті робочим бортом кар'єру в межах його північної частини зони зрушень, складає $6,8...17,0\%$ (табл. 3.6).

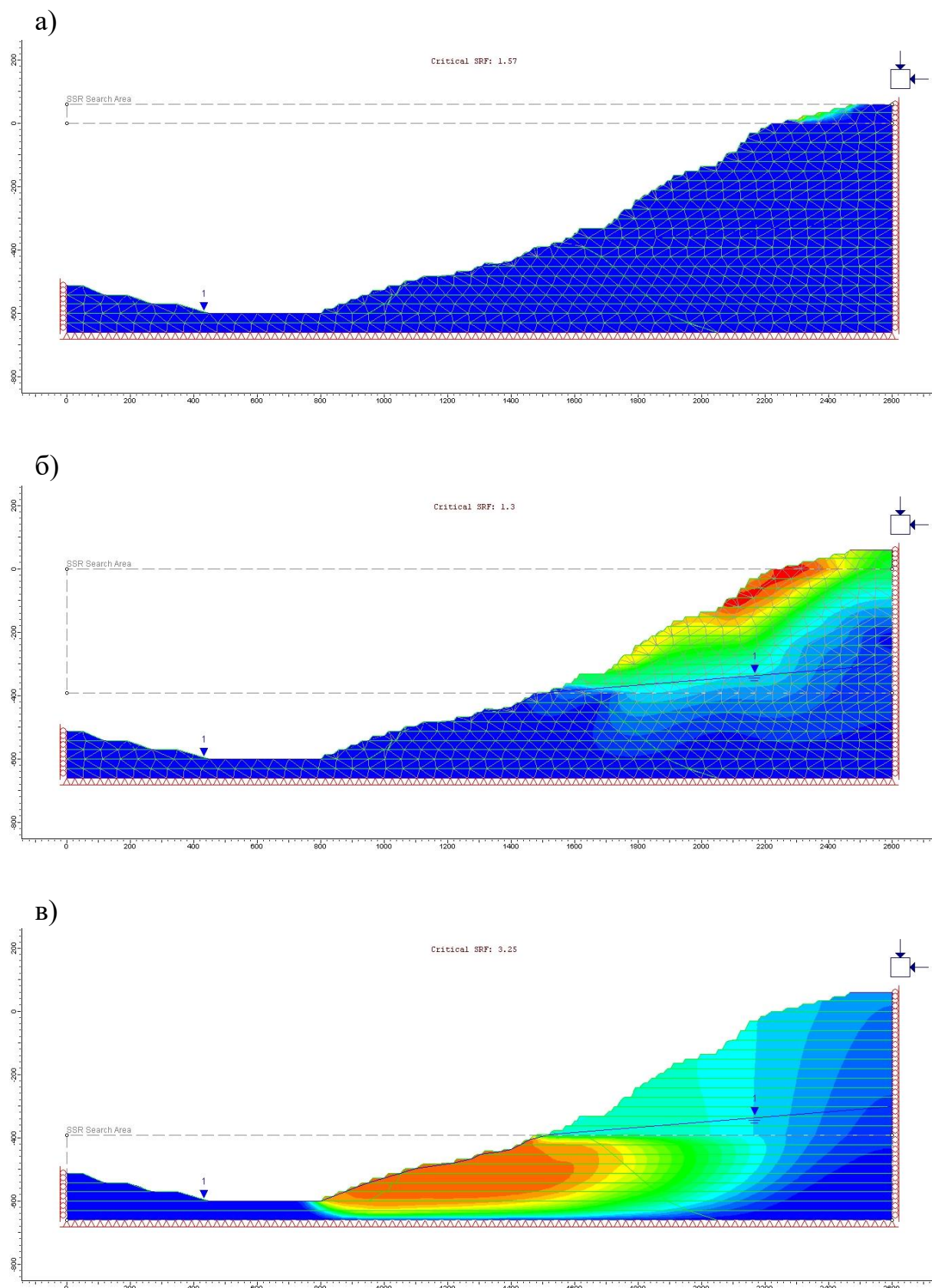


Рисунок 3.15 – Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості груп уступів північного борту кар'єру (проект, 2018 р.) – для інтервалів осадової товщі (а), зони провалів і зрушень (б) та непорушеного кристалічного масиву (в)

Таблиця 3.6 – Оцінка змін гідрогеомеханічної стійкості порушених гірничими роботами породних масивів під впливом гідравлічної складової

Розрахункові варіанти	Коефіцієнт стійкості, k_s , дол. од. / величина зниження k_s для обводненого породного масиву, дол. од.	
	Розрахункові профілі	
Східний борт	м.о. 66...68	м.о. 72...74
Необводнений породний масив	1,359 / -	1,315 / -
Обводнений породний масив	1,266 / 0,068	1,091 / 0,170
Обводнений породний масив з дренажно-утримуючими призмами	1,336 / 0,017	1,23 / 0,065
Розвантажений обводнений породний масив	-	1,197...1,200 / 0,090...0,087
Розвантажений обводнений породний масив з дренажно-утримуючими призмами	-	1,290 / 0,019
Північний борт	існуючий стан 2019 р.	граничний контур
Необводнений породний масив	2,690 / -	1,300 / -
Обводнений породний масив	2,500 / 0,071	1,300 / 0,000
Обводнений породний масив при розкритті зони зрушень	2,470 / 0,082..	1,290./ 0,008

В загальному вигляді залежність коефіцієнту запасу стійкості k_s борту кар'єру від величини гідравлічного напору на контурі зони зрушень в момент пікових водопритоків з урахуванням кутів закладення подвоєних уступів борту кар'єру має наступний вигляд (рис. 3.16).

Як видно з графіку залежності, інтенсивність зниження запасу стійкості породного масиву має вищі значення для інтервалів гідравлічних напорів в межах 5,0...10,0 м, і саме для цього інтервалу характерний найбільший їх вплив протягом часу спрацювання ємнісних запасів.

Зважаючи на одержані результати, а також на те, що розрахункові дані, які були використані для оцінки гідрогеомеханічної стійкості північного борту кар'єру, містять у своїй більшості оціночні характеристики деформаційних параметрів і параметрів міцності порушеного підземними гірничими виробками

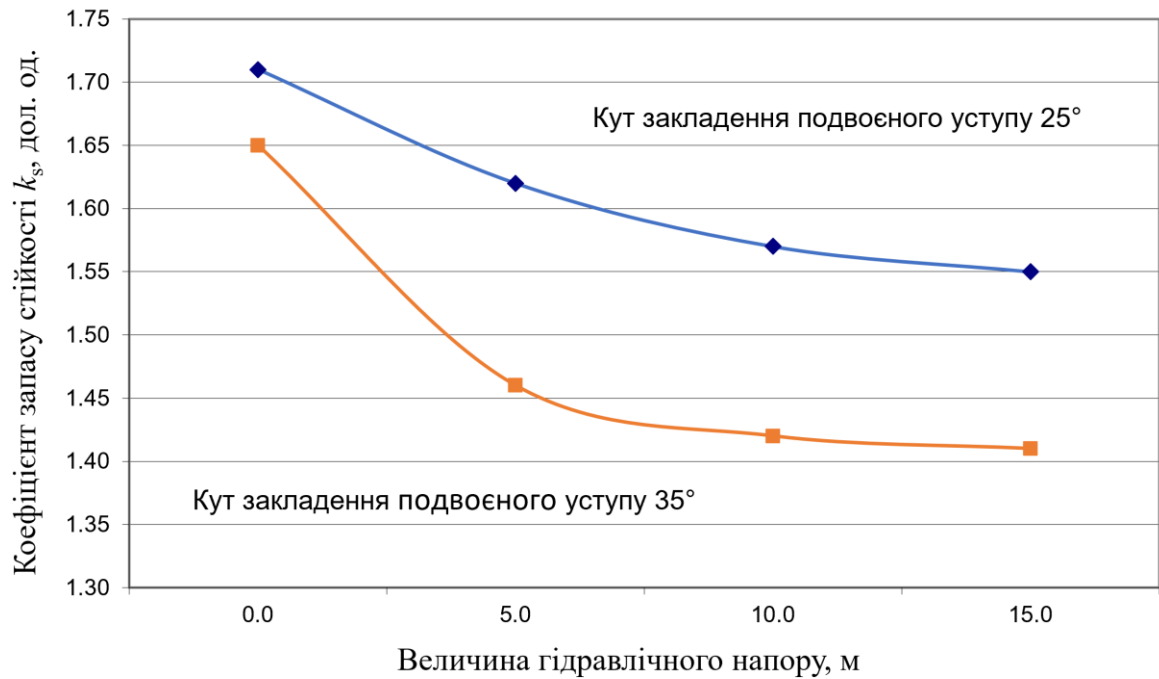


Рисунок 3.16 – Залежність коефіцієнту запасу стійкості від величини гідравлічного напору на контурі розкриття зони зрушень

породного масиву, що пов'язано з неможливістю прямого визначення характеристик міцності порід порушеної зони, вирішення завдання підвищення достовірності виконаних оцінок повинно базуватись на даних комплексного моніторингу стану робочого борту кар'єру і прилеглих ділянок, складовими якого мають бути геофізичні дослідження та геодезичні і гідрогеологічні спостереження.

Виконані дослідження покладені в основу розробленої методики оцінки геотехнічної стійкості породних масивів в зоні впливу техногенного водообміну, яка полягає в наступному.

1. Виконується аналіз геолого-гідрогеологічних та геотехнічних умов досліджуваної території (родовища) для визначення особливостей гідродинамічного режиму підземних вод в умовах техногенного впливу об'єктів гірничої промисловості.

Для виконання оцінок змін гідродинамічного режиму використовуються дані інженерно-геологічних досліджень та вишукувань, натурних обстежень,

моніторингу геодинамічних і гідродинамічних процесів, методів геофізичних досліджень стану породних масивів.

2. Розробляється чисельна геофільтраційна модель досліджуваної території (родовища) з використанням даних, отриманих на етапі аналізу вихідної інформації.

Виконується параметризація чисельної моделі з визначенням структури модельованої області, характеру залягання водовмісних і водотривких шарів, їх фільтраційних характеристик.

З аналізу умов живлення і розвантаження підземних вод в межах виділених водоносних горизонтів і комплексів визначаються граничні умови моделі.

За результатами вирішення обернених задач встановлюються адекватність та достовірність відображення в чисельній моделі реальних геофільтраційних процесів (верифікація моделі) з встановленням існуючих закономірностей у формуванні гідродинамічного режиму досліджуваної території.

3. Виконується прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму підземних вод в порушених веденням гірничих робіт та будівництвом об'єктів гірничого виробництва умовах.

Визначаються гідродинамічні характеристики потоків підземних вод в межах ділянок бортів кар'єрів, відвалів гірських порід, хвостосховищ, тощо, які складають основу для подальшої оцінки гідрогеомеханічної стійкості породних масивів.

4. Виконується розробка гідрогеомеханічних моделей ділянок порушених гірничими роботами (будівництвом породних відвалів, хвостосховищ тощо), які відображують геолого-структурні особливості породних масивів і дозволяють врахувати їх гідродинамічний стан шляхом введення в розрахунок величин гідравлічних напорів і характеристик їх розподілу в межах ділянок породних масивів, встановлених за даними геофільтраційних розрахунків на етапі 3.

За результатами розрахунків гідрогеомеханічної стійкості породних масивів для об'єктів, що розглядаються, визначаються параметри стійкості (коефіцієнти запасу стійкості) та їх зміни під впливом гідравлічної складової.

5. Отримані результати використовуються при визначенні комплексу заходів щодо підвищення геотехнічної стійкості порушених породних масивів, обґрунтуванні технологічних параметрів та рекомендацій щодо управління їх станом.

3.4 Оцінка геомеханічного стану порушених територій в зоні впливу об'єктів гірничої промисловості

Вплив об'єктів гірничопромислового комплексу на гідрогеомеханічний стан породних масивів на прилеглих до об'єктів гірничорудного комплексу розглянуто на прикладі території с. Новоселівка Широківського району, розташованого в межах 0,6...3,3 км від гідроспоруд «Войкове» і «Об'єднане» (ПРАТ «ПГЗК», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), ставка-накопичувача в балці Свистунова (ДП «Кривбас-шахтозакриття»), а також відвалів порожніх порід «Лівобережний» (ПРАТ «ПГЗК»).

Протягом останніх десятиліть на території села відзначена активізація інженерно-геологічних процесів, яка привела до значного погіршення стану забудованої території й умов проживання місцевого населення. У межах досліджуваної площі спостереженнями й обстеженнями зафіксовані ділянки просідання поверхні, воронкоутворення, характерне для зсувних процесів різноспрямоване переміщення мас ґрунту.

Причинами активізації негативних інженерно-геологічних процесів, які мають місце на території с. Новоселівка, в тому числі розвиток зсувних процесів, за відсутності різких змін складових природного характеру є дія техногенних чинників у формуванні режимів досліджуваної території [123, 101]:

- геодинамічний – додаткове компресійне навантаження на водовміщуючі шари під відвалами пустих порід «Лівобережні», що еквівалентно заглибленню цих шарів на глибину 40...70 м, і спричиняє деформацію природних фільтраційних потоків та їх переспрямування в бік с. Новоселівка;

- гідродинамічний – під впливом експлуатації гідротехнічних споруд на території с. Новоселівка та прилеглих територіях відбувається формування техногенного режиму підземних вод четвертинного та неогенового водоносних горизонтів, що виражається в зміні рівневих поверхонь та якісного складу підземних вод (значне підняття рівнів, від 0,4...1,8 м в четвертинному водоносному горизонті до 1,0...7,0 м – в неогеновому);

- гідрогеохімічний – зафіксовані зміни гідрогеохімічного стану підземних вод виражаються в значному зростанні їх мінералізації та трансформації хімічного складу води. Безпосередньо в межах с. Новоселівка мінералізація підземних вод четвертинного водоносного горизонту зростає за весь час спостережень від 0,70...1,49 г/л (1950 р.) та 0,98...1,63 г/л (1975 р.) до 2,37...2,25 г/л в 1993-1997 рр., мінералізація раніше прісних підземних вод в неогенових вапняках зросла до 7,79 г/л).

Для оцінки стійкості ґрунтового схилу створена чисельна модель ділянки території в найбільш небезпечному напрямку стосовно розвитку зсувних процесів (рис. 3.17). Методикою моделювання передбачався розгляд ряду численних рішень, які виконувалися виходячи з можливої зміни деформаційних характеристик і параметрів міцності гірських порід під впливом обводнення [125].

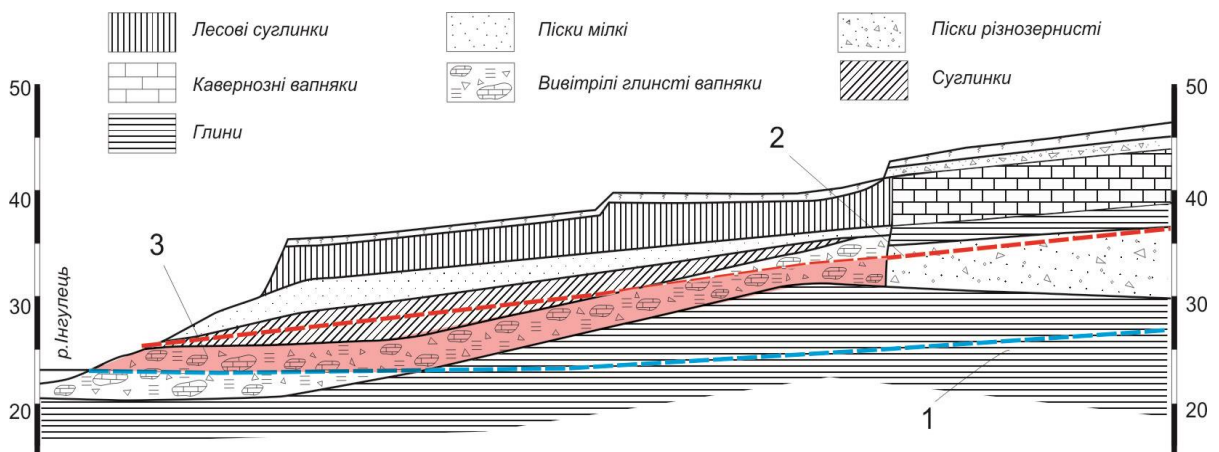


Рисунок 3.17 – Інженерно-геологічний розріз модельованої ділянки

Структура моделі та геометричні параметри її елементів встановлені на основі даних про інженерно-геологічні умови, отриманих ДФ ДП «Дніпро-ДШНТР» за результатами досліджень в межах зсувного схилу.

Граничні умови моделі представлені обмеженнями переміщень по горизонталі на її бічних границях і повним обмеження переміщень по нижній межі. Силова взаємодія між елементами моделі в межах модельованої області визначається діючими в ґрунтовій товщі гравітаційними силами.

Фізико-механічні параметри порід в чисельній моделі ділянки характеризуються наступними діапазонами значень:

- питома вага для глинистих ґрунтів склала 15,86...19,17 кН/м³, для піщаних 15,35...20,01 кН/м³, для карбонатних 16,73...19,17 кН/м³, для кори вивітрювання гранітів 27,0 кН/м³;

- модуль деформації склав 10,0...30,0 МПа для суглинків, 30,0...35,0 МПа для пісків, 30,0 МПа для кори вивітрювання гранітів, 30,0...32,0 МПа для глин, і до 30,0 МПа для різних вапняків;

- значення коефіцієнта Пуассона 0,25...0,30;

- питоме зчеплення для глинистих ґрунтів 16,0...126,0 кПа, для піщаних 0,1...7,0 кПа, для карбонатних 37,0...43,0 кПа, кори вивітрювання – 40,0 кПа;

- кут внутрішнього тертя 11,0...28,0° для глинистих ґрунтів, 24...33° для піщаних, 12,0...71,0° для карбонатних і 25,0° – для кори вивітрювання.

Процес моделювання представляв собою серію розрахунків напружено-деформованого стану схилу в умовах послідовного зниження модуля деформації перевідкладеного вапняку (30000, 20000, 15000, 10000, 7000, 5000, 3000 і 1000 кПа відповідно). Кожен розрахунок містив 11 фаз: на кожній фазі змінювалися характеристики міцності перевідкладеного вапняку, пропорційно знижувалися на 10% від попередньо заданих значень зчеплення C і кут внутрішнього тертя φ . Такий набір рішень дозволив проаналізувати комплексний вплив зниження деформаційних та міцнісних характеристик вивітрілого вапняку в інтервалі змін значень параметрів, викликаних техногенним впливом, на напружено-деформований стан масиву в цілому.

З урахуванням гідродинамічного стану чисельна модель доповнена граничними умовами, які визначаються підпертим рівнем води в річці – 22,5 м, рівнем підземних вод вище по потоку – 31,0 м, де на 3-й стадії відбувається підвищення рівня до 38,0 м. Фільтраційні властивості ґрунтів, що складають зсувонебезпечний масив, представлені значеннями: для проникних порід – 0,4...4,0 м/добу, для слабопроникних – $1,0 \cdot 10^{-5}$... $1,0 \cdot 10^{-2}$ м/добу.

Ключовими параметрами, які використовувалися і аналізувалися під час інтерпретації результатів моделювання, були вертикальні і горизонтальні переміщення при зниженні міцності та деформаційних властивостей вапняків.

Прояв зниження деформаційних властивостей вапняку у вигляді переважання вертикальних деформацій над горизонтальними супроводжується утворенням на поверхні масиву так званих «провалів» (рис. 3.18), а значне зниження міцності C і φ (до 30%) провокує розвиток зсуву (рис. 3.19).

Область розвитку максимальних переміщень сконцентрована над зоною максимальної потужності вапняків. Опосередковано вплив мінералізованих вод на зниження щільності та деформаційних властивостей порід підтверджено геофізичними дослідженнями в роботі [31].

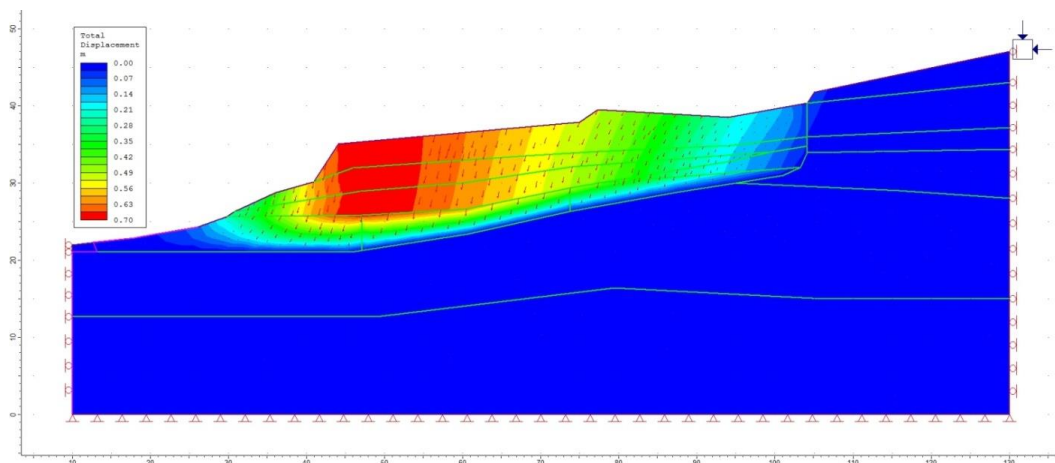


Рисунок 3.18 – Характер деформацій зсувного масиву при зниженні модуля деформації вапняку до 3000 кПа при збереженні 80% міцності

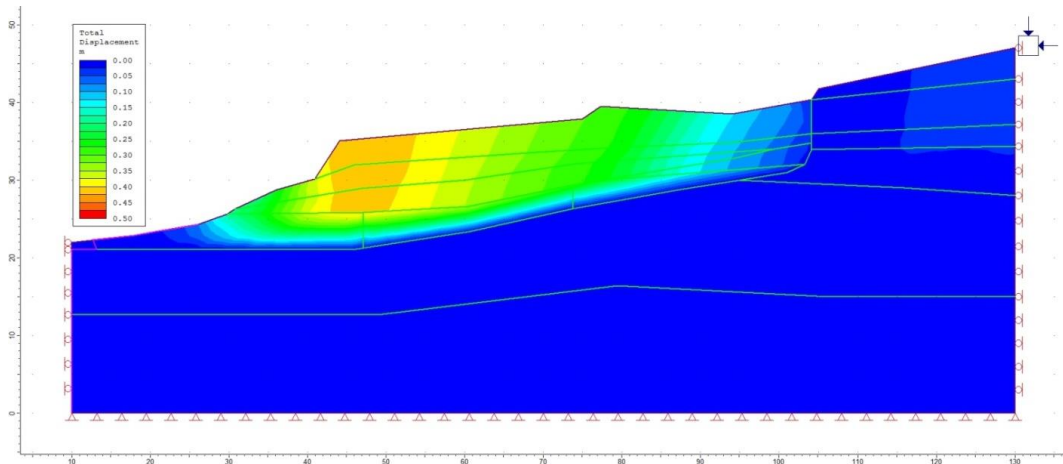


Рисунок 3.19 – Характер деформування зсувного масиву при зниженні модуля деформації вапняку до 25000 кПа і 40% міцності

За результатами виконаних оцінок встановлено, що при збереженні в цілому стійкого стану схилових ділянок ґрунтових масивів величини зсувних деформацій і деформацій осідань, а також їх інтенсивність в розглянутих умовах характеризуються експоненціальною залежністю від співвідношення міцності порушених порід та їх деформаційних властивостей (рис. 3.20).

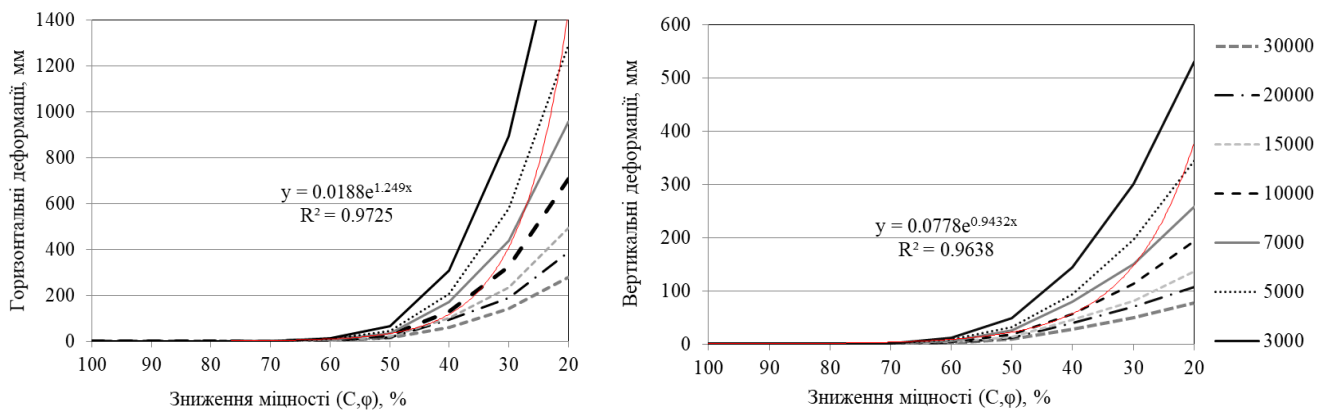


Рисунок 3.20 – Залежність горизонтальних деформацій і деформацій осідань від співвідношення деформаційних параметрів і параметрів міцності порід в зоні зсувного деформування (3000...30000 – модуль деформації, кПа), лінія тренду вказана червоним для $E = 5000$ кПа

Так, критичні деформації (прояв нелінійного характеру залежності переміщень від зміни міцнісних і деформаційних властивостей) відбуваються при

зниженні міцності сарматських вапняків до рівня 50...30% від початкових, і деформаційних властивостей до 5000...3000 кПа.

Так, вертикальні переміщення близько 0,5...0,8 м мають місце вже при зниженні модуля деформації вапняків до 10,0 МПа, що відбувається в процесі вилуговування. При цьому припускається, що вапняк втрачає приблизно половину своєї міцності, а масив ґрунтового схилу в цілому зберігає свою стійкість.

Зсув ґрунту в горизонтальному напрямку з амплітудою 0,1...0,3 м відбувається при залишковій міцності 70...40% при $E = 10,0$ МПа, і 80...60% при $E = 5,0$ МПа [121].

Таким чином, за результатами виконаних розрахунків з'ясований механізм розвитку зсувних деформацій і деформацій осідань в межах прилеглих до гідротехнічних споруд територій та встановлені залежності величин зсувних деформацій від співвідношення деформаційних параметрів і параметрів міцності карбонатних порід в інтервалі їх вилуговування.

3.5 Висновки

Обґрунтовані та розроблені гідрогеомеханічні моделі породних масивів східної та північно-західної ділянок борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» для дослідження їх напружено-деформованого стану та оцінки стійкості в умовах перспективного розвитку гірничих робіт.

Врахування дії гідравлічної складової на гідрогеомеханічний стан породних масивів в межах досліджуваних ділянок виконано у відповідності до встановлених за даними геофільтраційних розрахунків величин гідравлічних напорів та їх розподілу в границях порушених гірничими роботами масивів гірських порід.

За результатами розрахунків встановлено, що напружено-деформований стан ділянки сполучення східного борту кар'єру і відвалу № 3 характеризується вираженим формуванням зон зсувів в межах двох контурів – в межах 100-

метрової ділянки з охопленням уступів відвалу +41,0 і +48,7 м, і в межах 300-метрової ділянки – в границях уступів +68,9 і +80,1 м, тобто в межах контуру, який відповідає верхній границі зсуву, що відбувся у 1993 р.

Наявність ослаблених зон в межах бортів кар'єру визначає положення ділянок потенційного розвитку зсувних деформацій, а гідравлічні напори, які формують «відпір» в центральній частині призми зсуву, сприяють зниженню гідрогеомеханічної стійкості укосу.

Явище «відпору», зумовлене особливостями геолого-структурної будови родовища, визначається, як це показано для західного борту кар'єру, формуванням статичних запасів локально напірних вод, приурочених до слабопотужних шарів водопроникних відкладень в підшві водотривких київських глин.

При виконанні розрахунків розглядалося як фактичне положення північного борту кар'єру на ділянці входження його в зону зрушень від підземних гірничих виробок шахти «Центральна», так і проектні положення, що відповідали граничним контурам кар'єру – у відповідності до проектів відпрацювання родовища та розвитку гірничих робіт в межах ліцензійної площі.

Визначене за даними виконаних розрахунків зниження запасу стійкості породних масивів у зоні впливу гідродинамічної складової на їх напружено-деформований стан, у тому числі при розкритті робочим бортом кар'єру в межах його північної частини зони зрушень, складає 6,8...17,0%

Комплексний підхід, застосований при дослідженні порушеного гідродинамічного режиму, використаний при з'ясуванні механізму розвитку зсувних деформацій в межах прилеглих до гідротехнічних споруд територій та встановленні залежності величин зсувних деформацій від співвідношення деформаційних параметрів і параметрів міцності вапнякових порід в інтервалі їх вилугування.

Встановлені закономірності в порушенні геотехнічної стійкості породних масивів з урахуванням діючого гідравлічного навантаження складають основу для розробки інженерних рішень щодо стабілізації їх гідрогеомеханічного стану.

4 УПРАВЛІННЯ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИМ СТАНОМ ПОРОДНИХ МАСИВІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ ПОРУШЕНОГО ВОДООБМІНУ

4.1 Обґрунтування протизсувних заходів в умовах відпрацювання залізорудних покладів

Особливості і доцільність реалізації протизсувних заходів на ділянці східного борту кар'єру розглянуті на прикладі розрахункового профілю в межах в м.о. 72...74 (див. рис. 3.1).

У випадку розвантаження східного борту кар'єру за рахунок видалення складованих у відвал порід в уступі +41,0...48,7 м до відмітки +26,0 м у смузі шириною до 100 м стійкість ділянки забезпечується на рівні, який характеризується коефіцієнтом запасу стійкості $k_s = 1,20$. При цьому її стійкість визначається вже контуром зсувного деформування, який охоплює ділянку борту кар'єру з розташованим на ньому породним відвалом в межах смуги шириною близько 300 м (рис. 4.1).

В наведених умовах розвантаження породного відвалу в інтервалі відміток +79,9...+80,1 м практично не впливає на загальну стійкість ділянки сполучення борту кар'єру з породним відвалом, оскільки мінімальне значення коефіцієнту стійкості $k_s = 1,197$ в даному випадку визначається наявністю знеміщеної зони в підосві алювіального горизонту (рис. 4.2).

Підвищення гідрогіомеханічної стійкості за умови реалізації дренажних заходів сумісно з привантаженням уступів східного борту кар'єру досягається при розташуванні дренажно-утримуючих призм в межах контурів горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$, так, як це було виконано у складі ліквідаційних заходів на ділянці зсуву, що відбувся у 1993 року.

За рахунок зміщення дренажного контуру на ділянці спорудження дренажно-утримуючих призм в глибину породного масиву і часткового заміщення знеміщених глинистих відкладень скельними розкритими породами значення коефіцієнта запасу стійкості забезпечується на рівні $k_s = 1,23$ (рис. 4.3, 4.4).

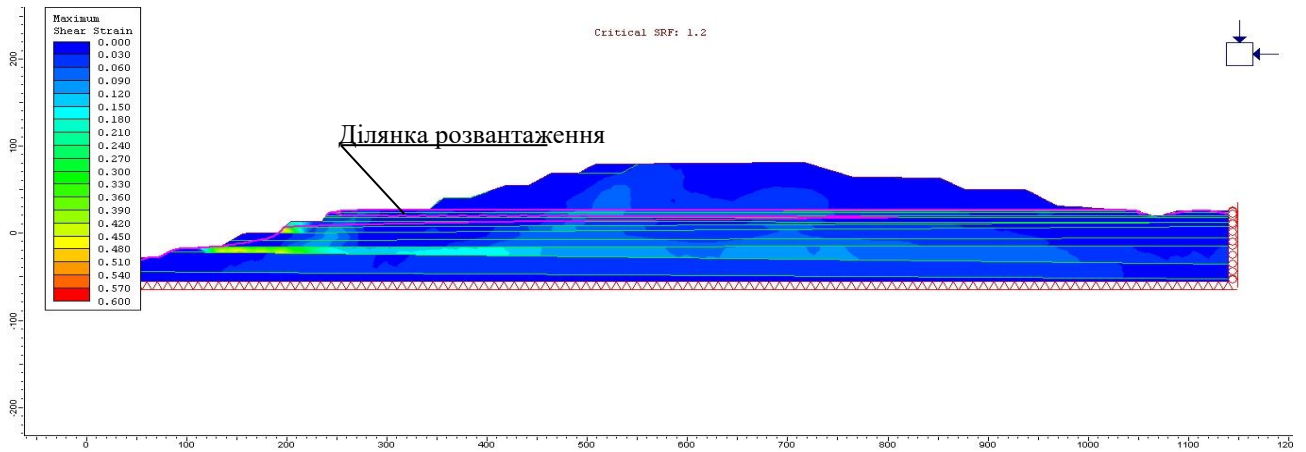


Рисунок 4.1 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 в обводненому стані за умови його розвантаження, $k_s = 1,20$

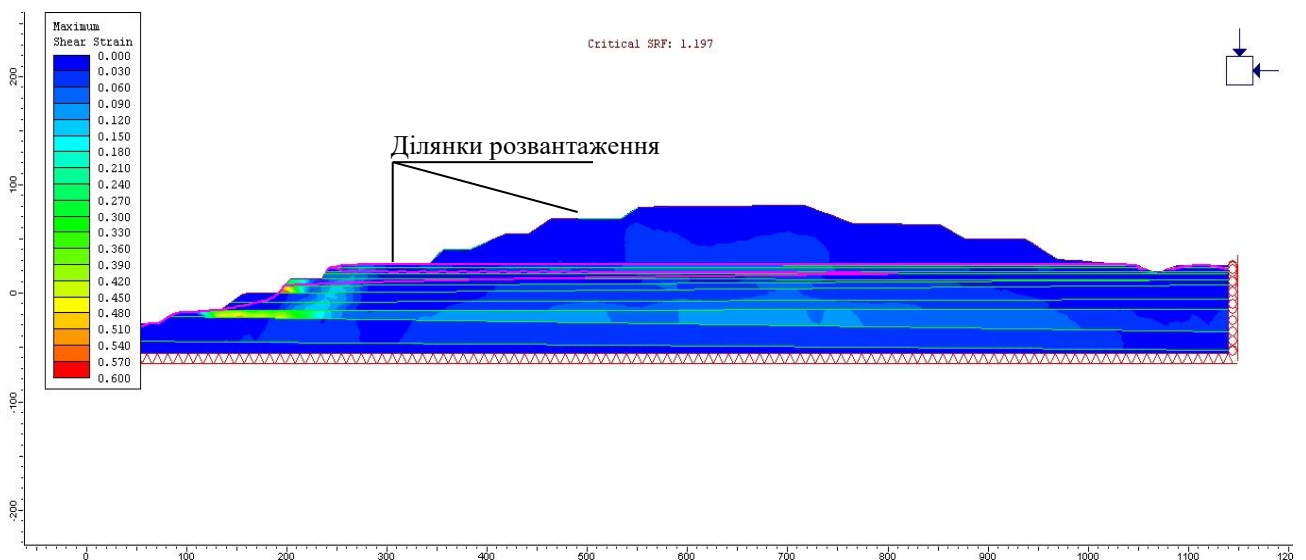


Рисунок 4.2 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 в обводненому стані за умови його розвантаження, $k_s = 1,197$

Комплекс заходів у складі спорудження дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ і розвантаження приконтурної ділянки борту кар'єру в межах смуги шириною 100 м за рахунок виїмки складованих у відвал порід до відмітки $+26,0$ м дозволяє підвищити стійкість породного масиву до $k_s = 1,29$ (рис. 4.5).

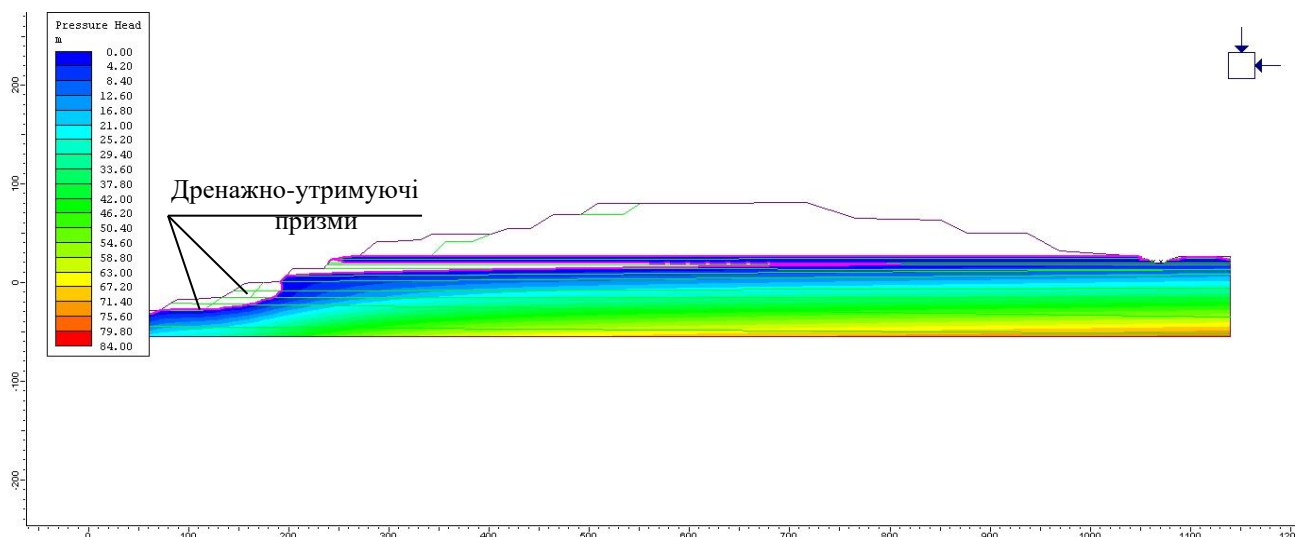


Рисунок 4.3 – Розподіл гідравлічних напорів в модельованому породному масиві в межах м.о. 72...74 при спорудженні дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ – за даними вирішення профільної геофільтраційної задачі, м

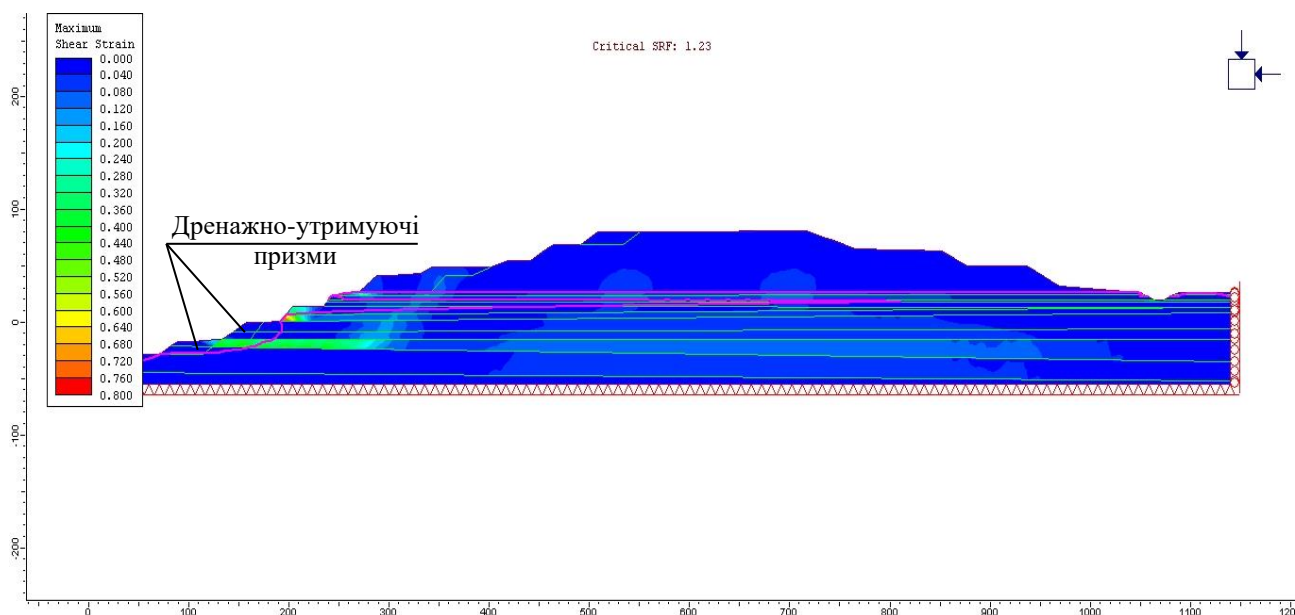


Рисунок 4.4 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 при спорудженні дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$, $k_s = 1,23$

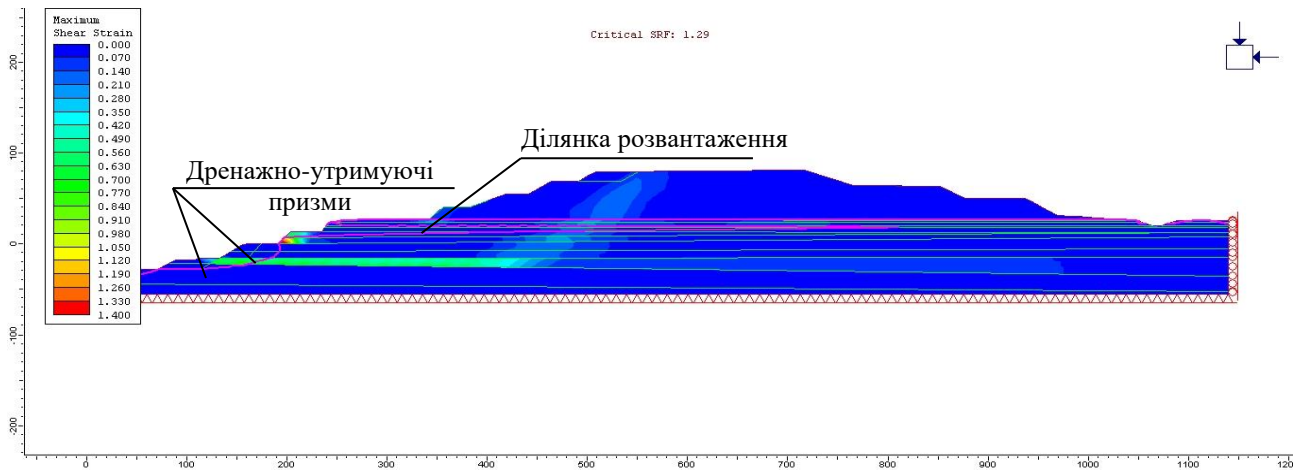


Рисунок 4.5 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в межах м.о. 72...74 при спорудженні дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ і розвантаженні породного відвалу в межах уступу $+41,0...48,7$ м, $k_s = 1,29$

У випадку розвантаження прибортової зони і зміщення контуру породного відвалу створюються передумови для запобігання обводненню товщі четвертинних супіщано-суглинистих відкладень в межах горизонтів $+26/+12$ і $+12,0/\pm 0,0$ і залученню їх до зсувного деформування, оскільки можливість їх обводнення пов'язана з формування в підшві відвалу № 3 техногенного водоносного горизонту, існування якого підтверджується даними геофізичних досліджень і результатами геофільтраційного моделювання.

Для оцінки ефективності ліквідаційних заходів, які реалізуються в межах північної ділянки східного борту кар'єру в зв'язку зі зсувами, що відбулися в 2013 і 2015 роках, виконані розрахунки гідрогеомеханічної стійкості ділянок в межах м.о. 68 і 74.

Згідно з результатами виконаних розрахунків для вказаних ділянок північно-східного борту кар'єру, навантаженого відвальними породами відвалу № 3, їх актуальний стан характеризується коефіцієнтами запасу стійкості $k_s = 1,336$ для профілю в м.о. 68 (рис. 4.6, 4.7) і $k_s = 1,332$ – для профілю в м.о. 74 (рис. 4.8, 4.9).

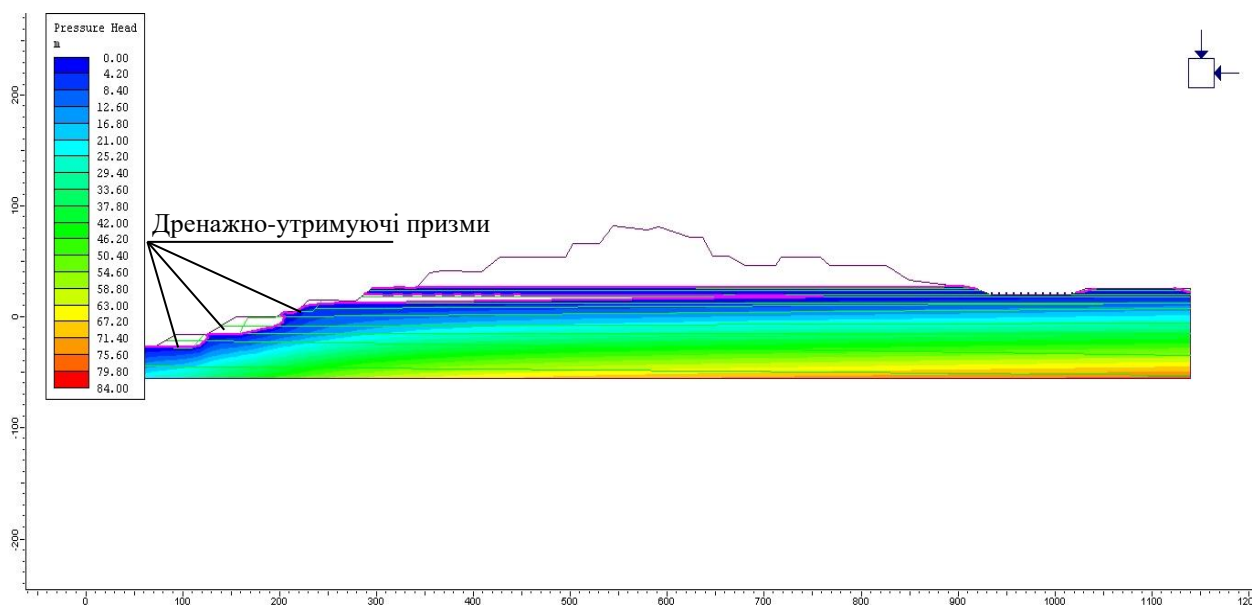


Рисунок 4.6 – Розподіл гідравлічних напорів в модельованому породному масиві в м.о. 68 в умовах реалізації ліквідаційних заходів – за даними вирішення профільної геофільтраційної задачі, м

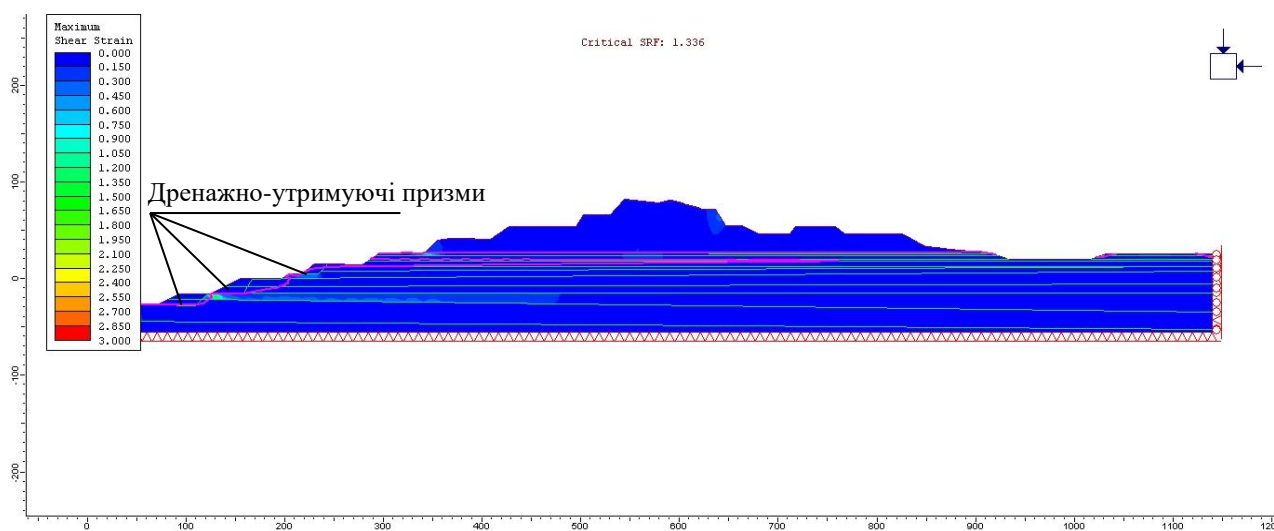


Рисунок 4.7 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в м.о. 68 в умовах реалізації ліквідаційних заходів, $k_s = 1,336$

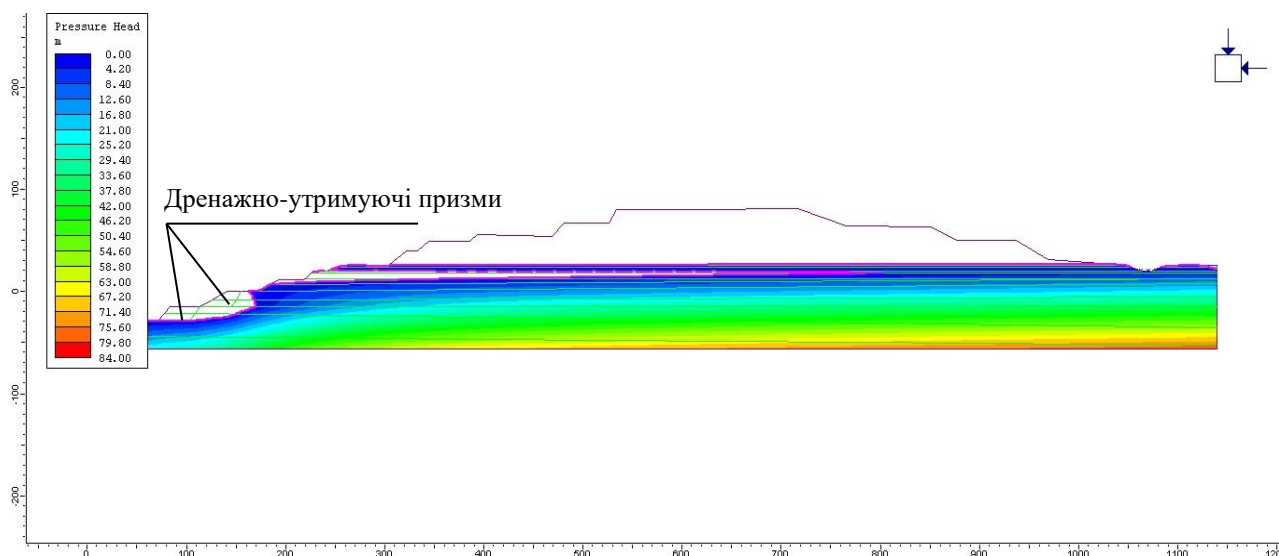


Рисунок 4.8 – Розподіл гідравлічних напорів в модельованому породному масиві в м.о. 74 в умовах реалізації ліквідаційних заходів – за даними вирішення профільної геофільтраційної задачі, м

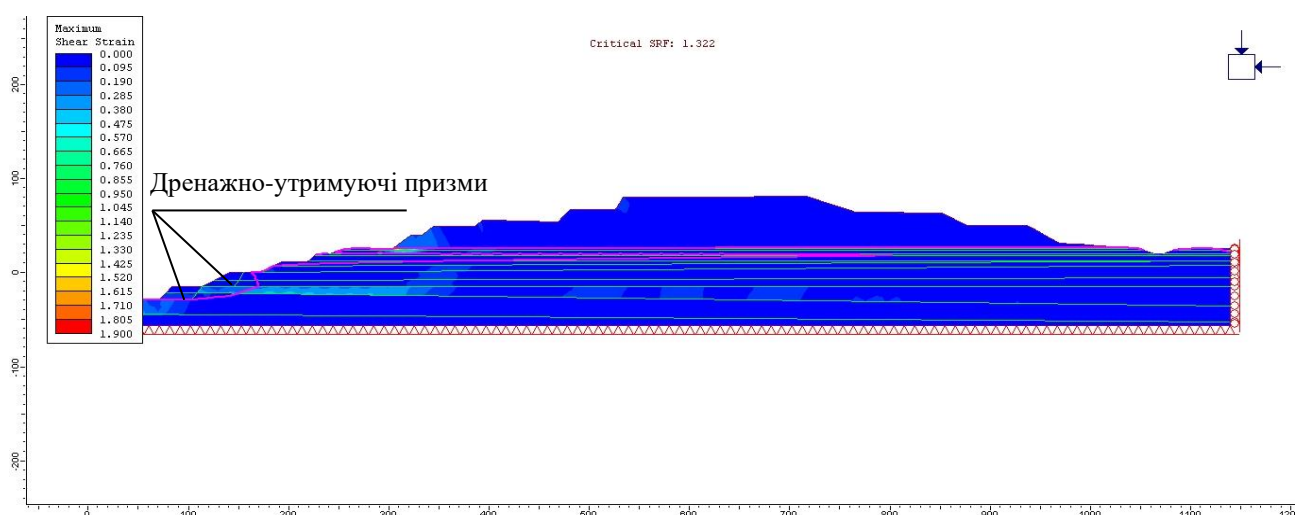


Рисунок 4.9 – Характер зсувного деформування ділянки сполучення північно-східного борту кар'єру і породного відвалу № 3 в м.о. 74 в умовах реалізації ліквідаційних заходів, $k_s = 1,332$

Слід відзначити, що отримані значення коефіцієнту запасу стійкості відповідають умовам забезпеченого дренажного водовідведення в інтервалі розташування дренажно-утримуючих призм в інтервалі горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$.

За умови розвантаження приконтурної ділянки північно-східного борту

кар'єру за рахунок виїмки складованих у відвал порід до відмітки +26,0 м її положення визначається смугою шириною 100 м в контурах розміщення породного відвалу № 3 в заплаві р. Інгулець (рис. 4.10).

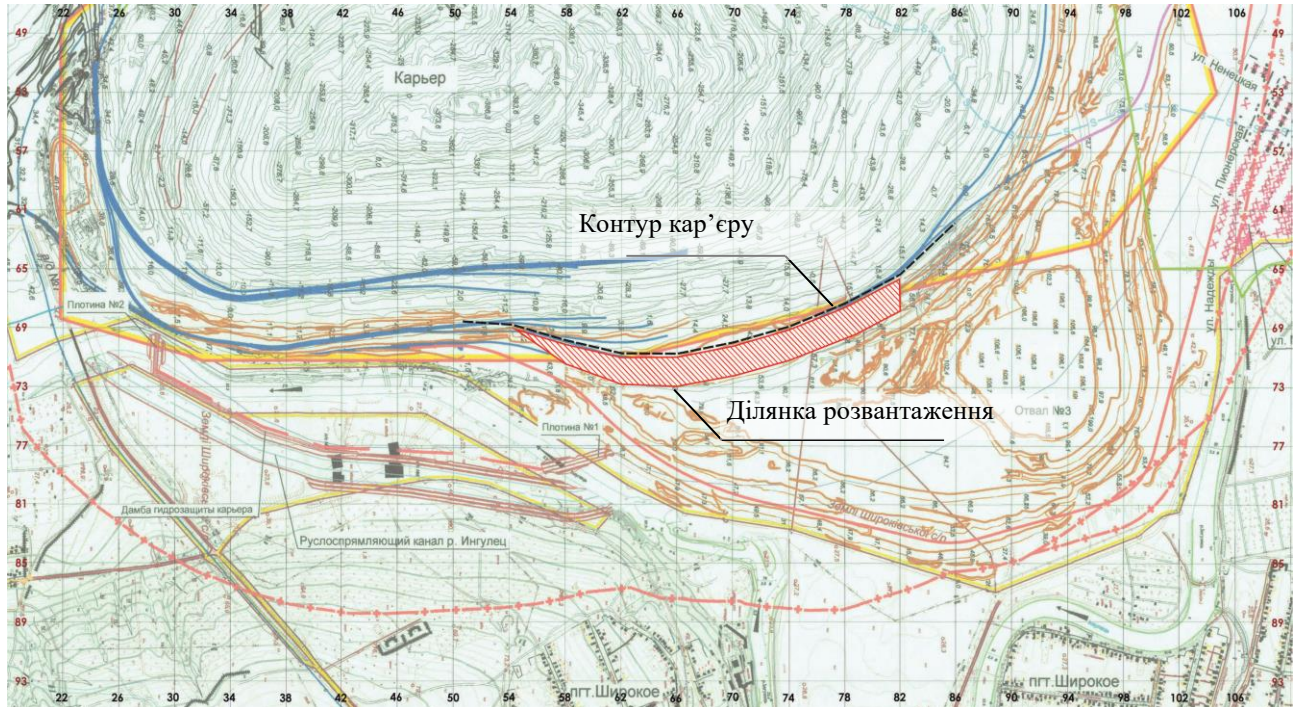


Рисунок 4.10 – Ділянка розвантаження північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в контурах розміщення породного відвалу № 3 в заплаві р. Інгулець

Зважаючи на виконані оцінки слід відзначити, що спорудження проектованої ПФЗ є умовою необхідною, але недостатньою для забезпечення гідрогеомеханічної стійкості північно-східного борту кар'єру на рівні нормованого значення коефіцієнту стійкості. Спорудження ПФЗ повинно розглядатися у комплексі заходів, які перешкоджають додатковому обводненню зсувних і зсуво-небезпечних ділянок східного борту кар'єру. В переліку таких заходів мають бути:

- забезпечення надійного дренажного водовідведення на ділянках спорудження дренажно-утримуючих призм, особливо в межах уступів, складених глинистими відкладеннями в зоні контакту київських і буцацьких глин (горизо-

нти $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$), а також київських глин в підшві алювіального водоносного горизонту (горизонт $+12,0/\pm 0,0$);

- забезпечення дренажного водовідведення на контурі породного відвалу № 3 в смузі розвантаження приконтурної ділянки північно-східного борту кар'єру на відмітці $+26,0$ м за умови виїмки складованих у відвал порід горизонту $+41,0...+48,7$ м;

- організація водовідведення поверхневого стоку в межах породного відвалу № 3, в тому числі за рахунок спорудження прямотоків, для запобігання додатковій інфільтрації атмосферних опадів в масив відвальних порід і наступному формуванню водонасиченої зони в підшві породного відвалу.

4.2 Заходи щодо гідрозахисту робочого борту кар'єру в умовах перспективного розвитку гірничих робіт

Прогнозна оцінка величин кар'єрних водопритоків та їх розподілу в межах східного борту кар'єру виконана для умов будівництва нового русла р. Інгулець відповідно до його проектного положення з урахуванням перспективного розвитку гірничих робіт на період до 25 років.

До групи прогнозних задач, вирішення яких виконано за результатами геофільтраційного моделювання, відносяться:

- дослідження гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при будівництві нового русла р. Інгулець для умов існуючого положення контуру кар'єру;

- оцінка ефективності проекрованої ПФЗ за умови будівництва нового русла р. Інгулець при існуючому положенні контуру кар'єру;

- дослідження гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при прогнозованому просуванні контуру кар'єру (на період до 25 років) за умови спорудження нового русла р. Інгулець;

- оцінка ефективності проекрованої ПФЗ в умовах прогнозованого просу-

вання контуру кар'єру (на період до 25 років).

Для врахування ємнісної складової в загальному балансі модельованої області чисельні розрахунки виконані для умов нестационарного режиму фільтрації, що також забезпечувало можливість врахування ємнісних запасів у розгляді умов формування обводненої зони в основі породного відвалу № 3.

При цьому в умовах нестационарного режиму фільтрації низька динамічність посування контуру кар'єру (в середньому до 15 м на рік) забезпечує близький до стаціонарного режим фільтрації, за якого формування кар'єрних водопритоків в межах північно-східного борту кар'єру відбувається майже виключно за рахунок ресурсної складової – ємнісна складова в загальному балансі моделі не перевищує 0,7% відсотка в об'ємі кар'єрних водопритоків.

На першому етапі прогнозного моделювання із розрахунку була виключена ділянка існуючого русла р. Інгулець, а в розрахунок була введена ділянка, яка відповідає проектному положенню нового русла р. Інгулець (рис. 4.11). Її гідрравлічні параметри як гідродинамічної границі, встановлені у відповідності до геометричних характеристик проектного русла, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Гідрравлічні параметри ділянок існуючого і проектного нового русла р. Інгулець

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м ² /добу
Існуюче русло			
- м.о. 18...24	22,05	19,40	437,5
- м.о. 60...72	22,20	20,70	4312,5
- м.о. 72...74	22,25	20,75	4312,5
- м.о. 88...92	22,40	20,90	4312,5
- м.о. 92...104	22,45	20,95	4312,5
- м.о. 104...110	22,50	21,00	0,000625...4312,5
Нове русло			
- м.о. 24...34	22,05	19,50	4312,5
- м.о. 34...50	22,10	20,00	437,5...4312,5
- м.о. 50...60	22,15	20,50	0,000625...4312,5

На другому етапі до розрахунку була прийнята проектована ПФЗ, закладення якої передбачається вздовж нового русла р. Інгулець (рис. 4.12). Робота проекрованої ПФЗ в моделі забезпечувалась за рахунок знижених до 0,001 м/добу значень гідравлічної проникності на стінках розрахункових блоків моделі. Значення коефіцієнту фільтрації завіси прийнято виходячи із можливого застосування у якості матеріалу ПФЗ місцевих суглинків і глин.

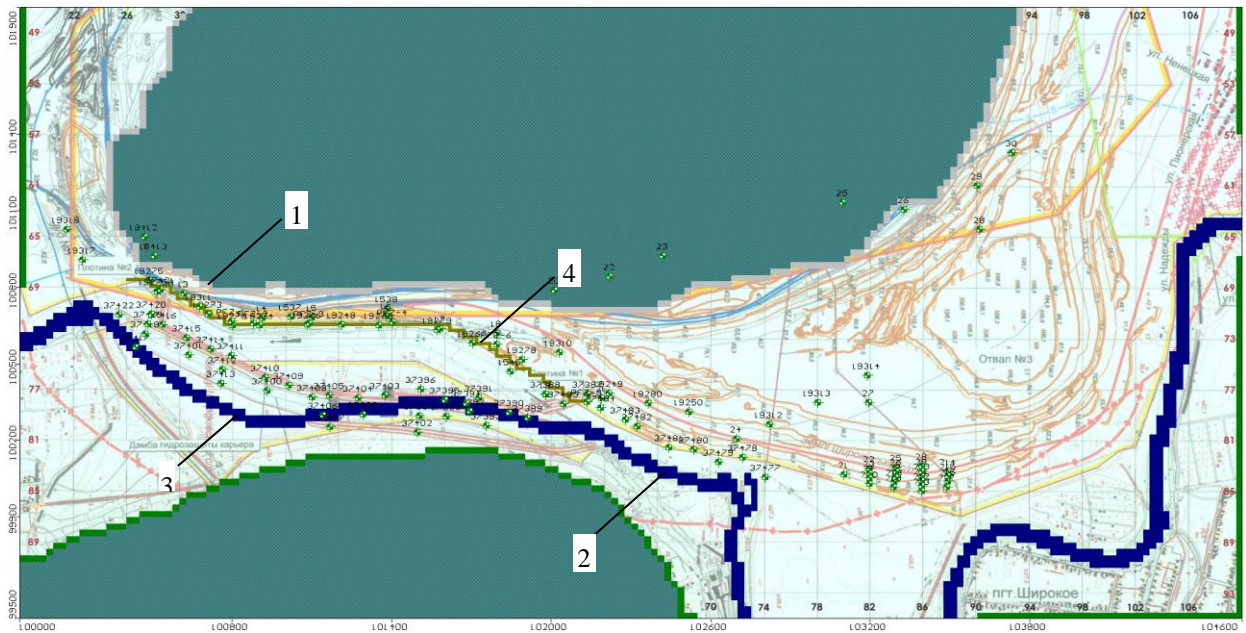


Рисунок 4.11 – Розрахункова схема до прогнозу гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при будівництві нового русла р. Інгулець для умов існуючого положення контуру кар'єру: 1 – існуюче положення борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»; 2,3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ

Для оцінки гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту на прогнозний період відпрацювання залізрудного родовища кар'єром ПРАТ «ІНГЗК» положення його східного борту в чисельній моделі встановлено відповідно до граничного контуру, передбаченого робочим проектом станом на 25-ти річний термін експлуатації кар'єру (рис. 4.13).

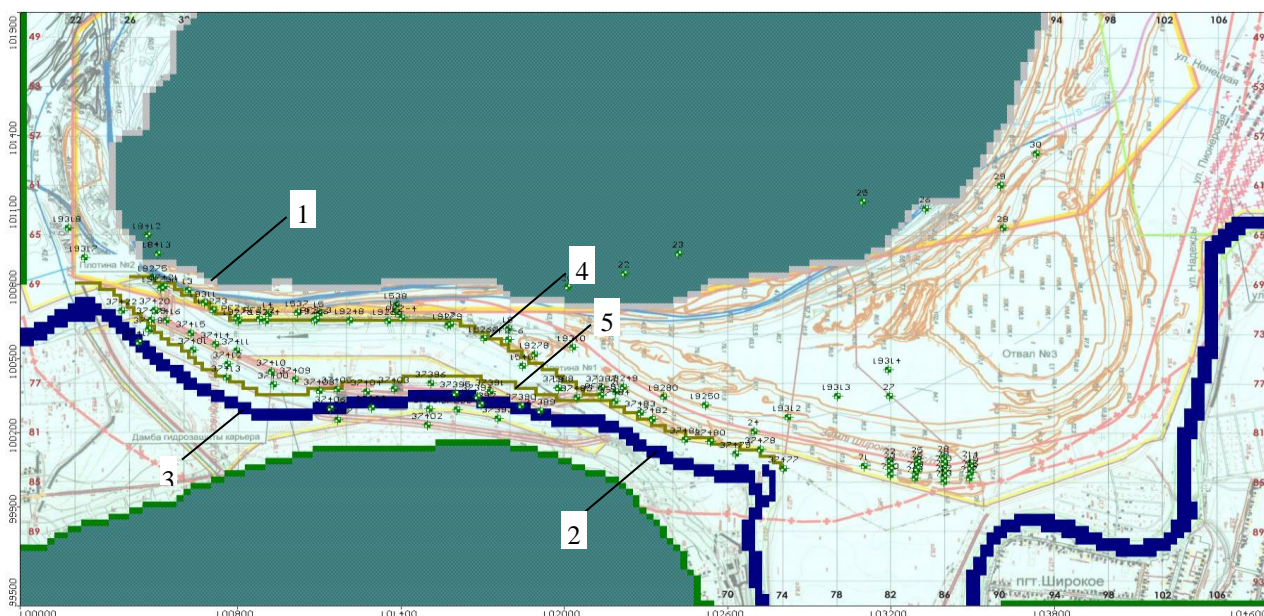


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема до оцінки ефективності проектованої ПФЗ за умови будівництва нового русла р. Інгулець при існуючому положенні контуру кар'єру: 1 – існуюче положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована ПФЗ



Рисунок 4.13 – Розрахункова схема до прогнозу гідродинамічного режиму алювіального водонесного горизонту при прогнозованому просуванні контуру кар'єру (на період до 25 років) за умови спорудження нового русла р. Інгулець: 1 – очікуване положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ

Згідно до розрахункового положення контуру дренавання верхні відмітки інтервалу височування з алювіальних відкладень (розрахунковий шар 5) встановлені рівними 8,0...25,4 м, що відповідає перевищенню абсолютних відміток підосви алювіальних пісків на величину 0,9...1,0 м.

На цьому етапі дослідження умов формування кар'єрних водопритоків виконувалось як за умови відсутності нової ПФЗ на внутрішньому контурі нового русла р. Інгулець, так і при її закладенні з раніше заданою гідравлічною проникністю матеріалу завіси, рівною 0,001 м/добу (рис. 4.14).

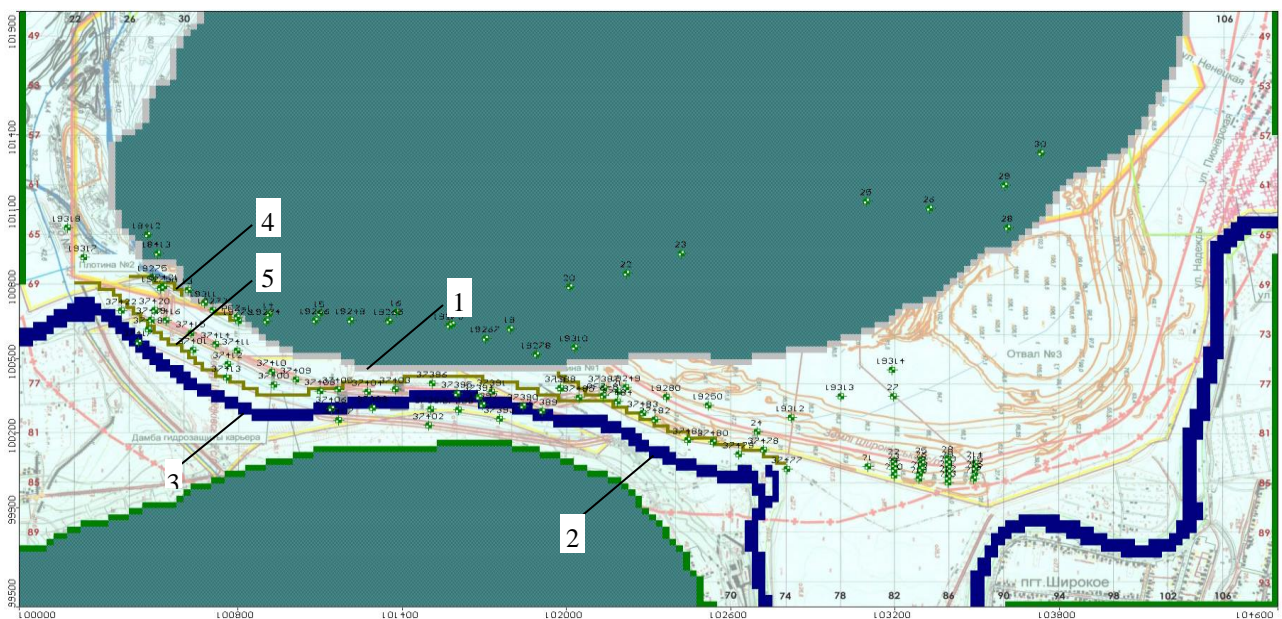


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема до оцінки ефективності проектованої ПФЗ в умовах прогнозованого просування контуру кар'єру (на період до 25 років): 1 – очікуване положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована ПФЗ

Прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці східного борту кар'єру виконана за умови спорудження нового русла р. Інгулець у відповідності до його проектного положення в межах м.о. 22...60/73...81.

Положення рівневих поверхонь обводненої зони в межах породного відвалу № 3 і підземних вод алювіального водоносного горизонту, встановлені за результатами прогнозних розрахунків, наведені на рис. 4.15, 4.16 і 4.17.



Рисунок 4.15 – Рівнева поверхня обводненої зони відвалу № 3 при проектованому положенні нового русла р. Інгулець: 1 – існуюче положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ; 5 – зона обводнення

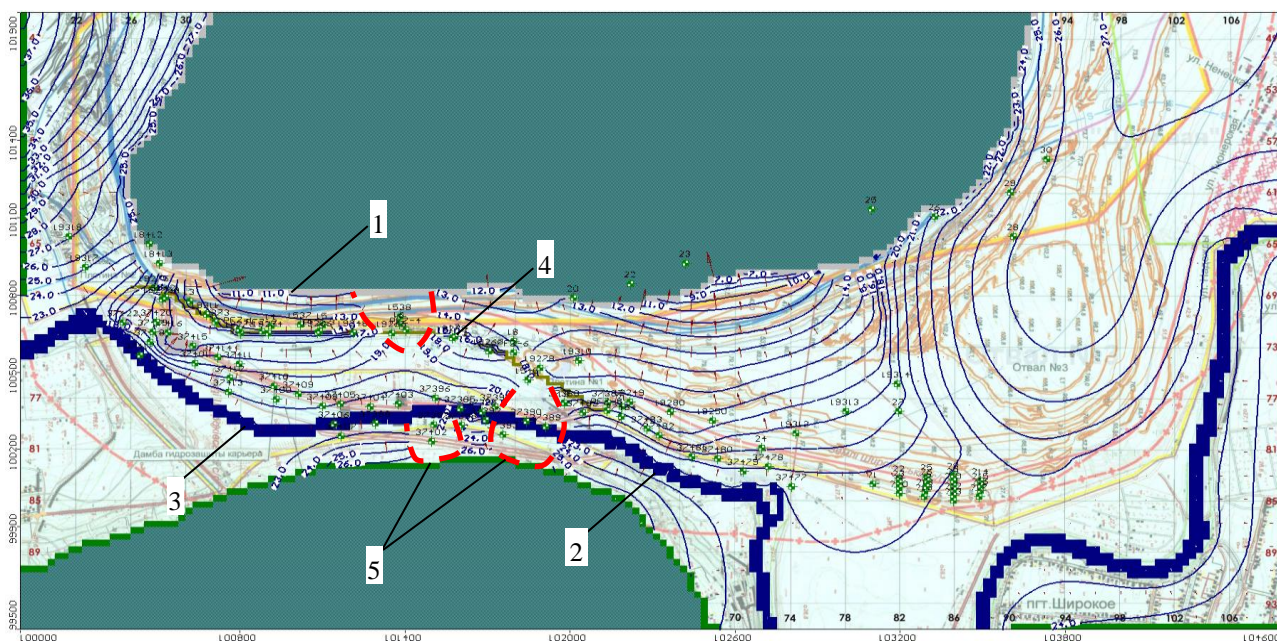


Рисунок 4.16 – Рівнева поверхня алювіального водоносного горизонту при проектованому положенні нового русла р. Інгулець: 1 – існуюче положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ; 5 – зони осушення

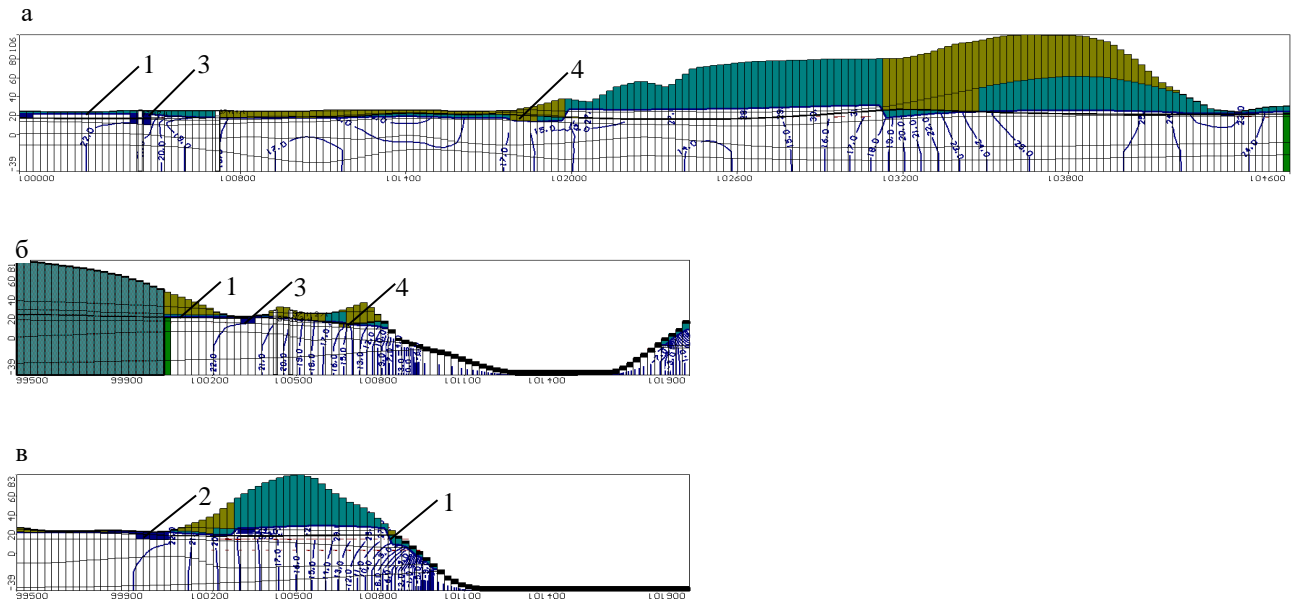


Рисунок 4.17 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець, а – меридіональний напрям, б, в – широтний напрям: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване положення нового русла р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ

Поверхня обводненої зони в основі породного відвалу характеризується абсолютними відмітками 22,0...31,5 м і загальним ухилом у південному напрямку та у напрямку контурів дренажування зі сторони східного борту кар'єру та західного укосу породного відвалу, зберігаючи майже незмінним своє положення відносно існуючого стану.

При збереженні загального напрямку потоку підземних вод в умовах нового положення русла р. Інгулець характер рівневої поверхні алювіального горизонту на ділянці, що прилягає до східного борту кар'єру, набуває більш похилого залягання, а величина загального притоку в межах досліджуваної ділянки кар'єру знижується від 2374,9 м³/добу (див. табл. 2.8) до 1431,6 м³/добу або 59,6 м³/Год (табл. 4.2).

Збереження і навіть збільшення величини живлення алювіального горизонту за рахунок річкового стоку з 2245, 4 до 2628,5 м³/добу в умовах, що розглядаються, пов'язано з впливом локальної зони низхідного розвантаження в алювіальному горизонті в м.о. 26...32, за рахунок чого відбувається перехоп-

лення поверхневого стоку, який витрачається на формування водопритоків безпосередньо на контурі кар'єру.

Таблиця 4.2 – Балансові складові модельованої області при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	361,309	-
Взаємозв'язок з річкою	2628,597	-1411,194
Витрати по контуру	1657,656	-62,223
Ємнісна складова	22,510	-1,210
Приток до кар'єру	-	-3198,168
- у тому числі м.о. 26...90	-	-1431,562
Всього	4670,071	-4672,795
Похибка		-2,724
Нев'язка, %		-0,030

У загальному ж випадку величина кар'єрних водопритоків на досліджуваній ділянці, яка досягає в абсолютному вираженні 1431,6 м³/добу, є досить близькою величині ресурсної складової, що формується за рахунок поверхневого стоку на ділянці проектуваного будівництва русла р. Інгулець.

Слід також відзначити, що будівництво нового русла р. Інгулець впливає переважно на зниження водопритоків до південної ділянки східного борту кар'єру – в межах м.о. 30...62, тоді як межах його північної ділянки в м.о. 62...90 цей вплив мінімальний, що визначається відносною віддаленістю північно-східного борту кар'єру від ділянки проектуваного будівництва нового русла р. Інгулець (табл. 4.3).

При розвитку гірничих робіт і просуванні контуру кар'єру у східному напрямку існуюча ПФЗ виводиться з ладу, в зв'язку з чим наближення контуру дренажу до нового русла р. Інгулець на відстань близько 150...200 м сприяє росту кар'єрних водопритоків до 1734,9 м³/добу або 72,3 м³/год в межах модельованої східної ділянки кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» (рис. 4.18, 4.19 і 4.20, табл. 4.4).

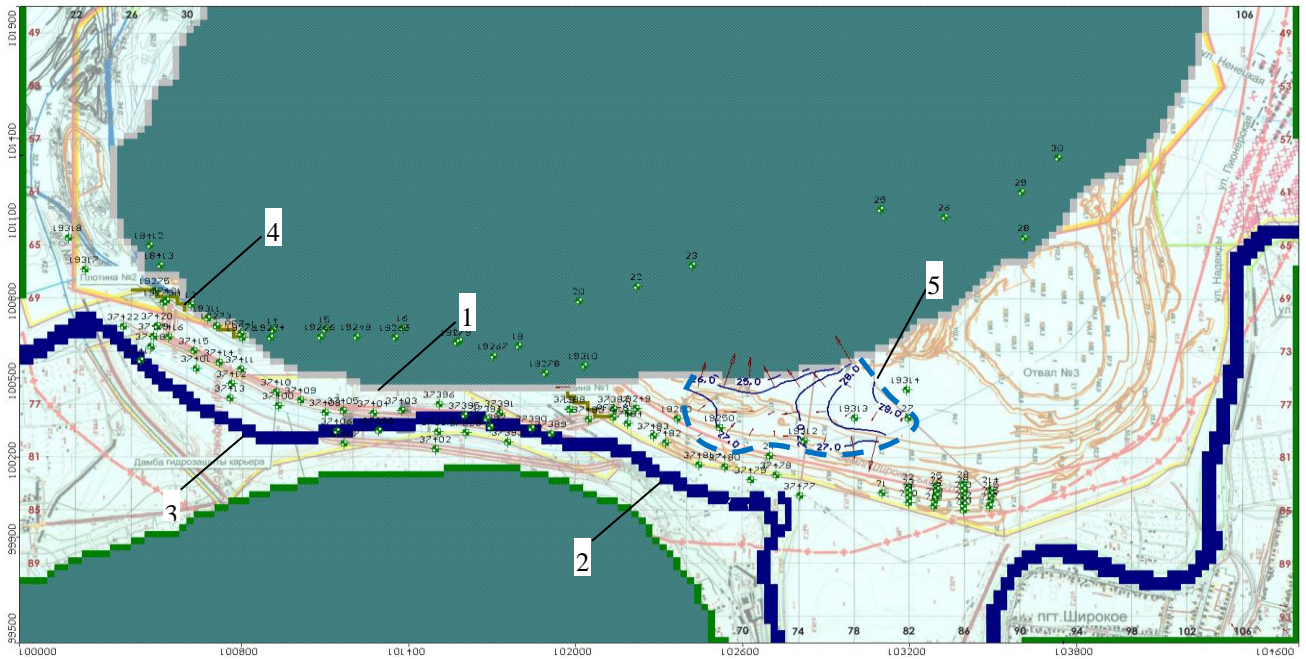


Рисунок 4.18 – Рівнева поверхня обводненої зони відвалу № 3 при проєктованому положенні нового русла р. Інгулець і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ; 5 – зона обводнення

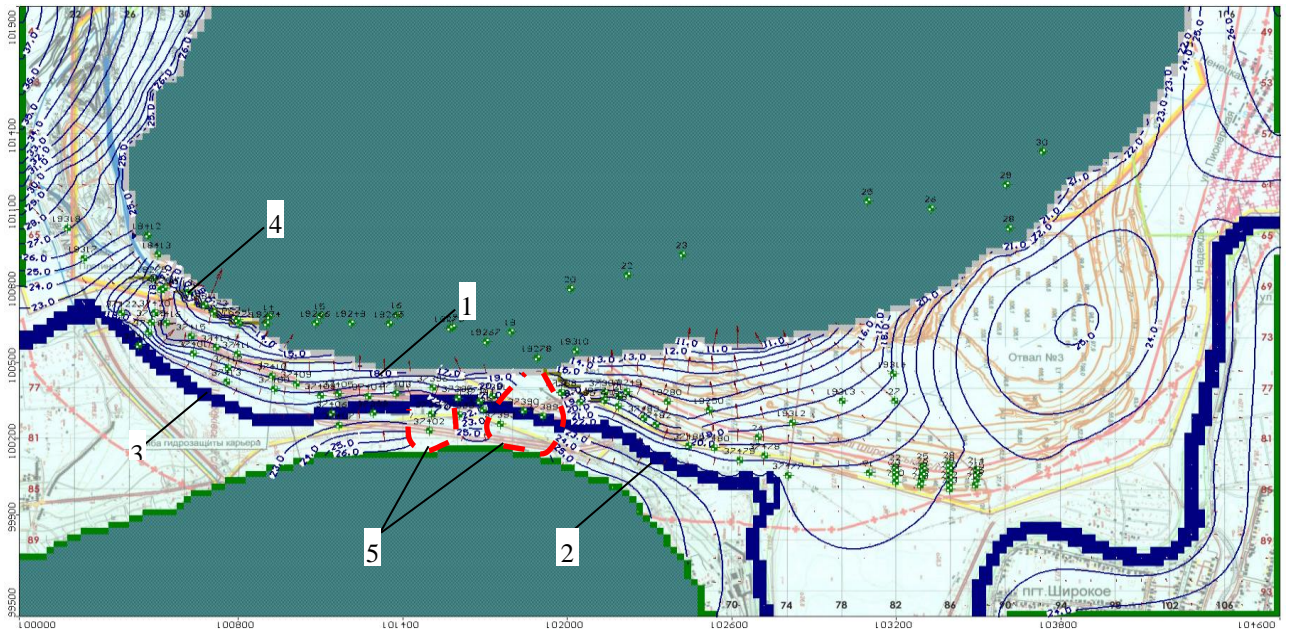


Рисунок 4.19 – Рівнева поверхня алювіального водоносного горизонту при проєктованому положенні нового русла р. Інгулець і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча ПФЗ; 5 – зони осушення

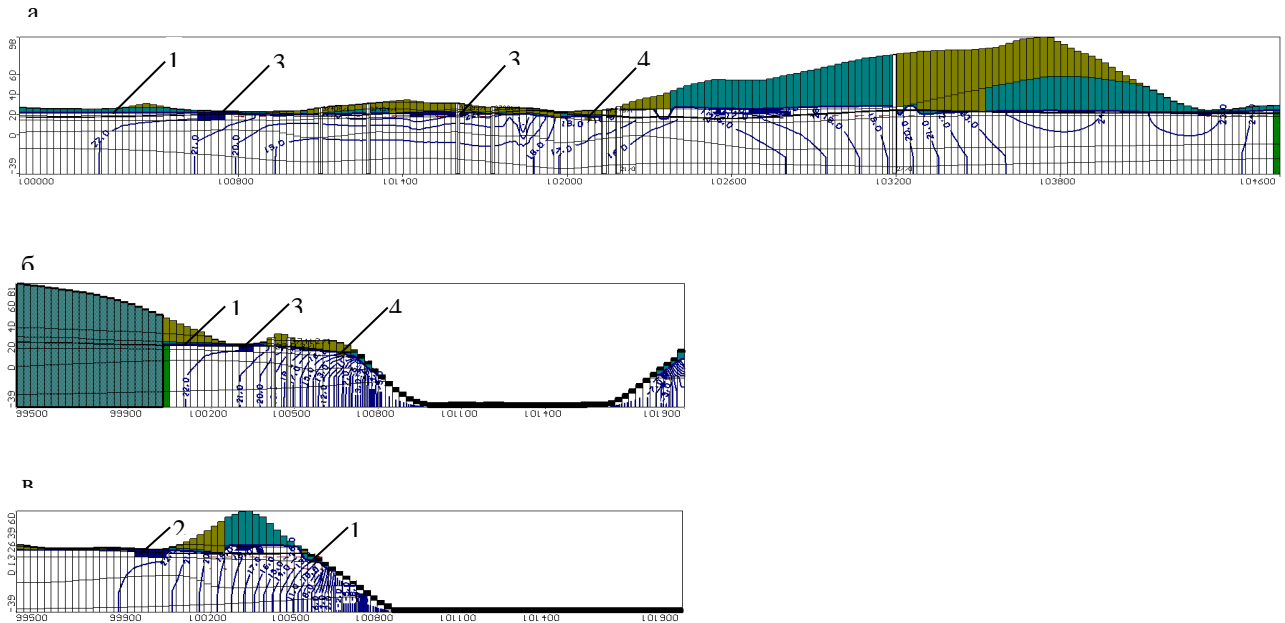


Рисунок 4.20 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець і очікуваного положення контуру кар'єру, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване положення нового русла р. Інгулець; 4 – ПФЗ

Таблиця 4.3 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проєктованому будівництві нового русла р. Інгулець

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	26,060	-	25,900	0,103
2	30...34	242,400	-	239,580	0,158
3	34...38	135,050	-	138,810	0,109
4	38...42	161,310	-	158,300	0,112
5	42...46	9,480	-	10,760	0,140
6	46...50	10,100	-	12,680	0,130
7	50...54	71,597	-	68,540	0,070
8	54...58	58,723	-	58,390	0,150
9	58...62	60,735	2,830	60,607	0,145
10	62...66	162,690	4,530	153,310	0,104

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
11	66...70	247,730	5,450	241,530	0,202
12	70...74	158,590	7,650	147,960	0,120
13	74...78	54,482	8,170	46,210	0,130
14	78...82	5,258	0,690	4,520	0,170
15	82...86	6,711	-	4,580	0,170
16	86...90	20,646	-	9,270	0,130
Разом		1431,562	29,320	1380,947	2,143

Таблиця 4.4 – Балансові складові модельованої області на ділянці проектованого будівництва нового русла р. Інгулець при очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	272,630	-
Взаємозв'язок з річкою	2944,202	-1379,068
Витрати по контуру	1666,863	-58,206
Ємнісна складова	5,559	-0,231
Приток до кар'єру	-	-3452,453
- у тому числі м.о. 26...90	-	-1734,916
Всього	4889,254	-4889,958
Похибка		-0,703
Нев'язка, %		-0,010

Приріст прогнозних водопритоків в умовах, що розглядаються, відбувається як в межах південної, так і північної ділянок східного борту кар'єру, складаючи відповідно на ділянках їх концентрації 839,8 м³/доб в м.о. 30...46 і 603,09 м³/добу – в м.о. 58...74. Загальною ж особливістю формування водопритоків є відносно рівномірний їх розподіл в межах всього східного борту кар'єру (табл. 4.5).

Зменшення площі породного відвалу № 3 при просуванні контуру кар'єру до його граничного положення сприяє деякому зниженню водопритоків, що формуються за рахунок обводненої зони в основі відвалу – до 10,8 м³/добу (див. табл. 4.5). При цьому незмінним залишається загальний південний напрямок

підземного потоку з розтіканням до західного і східних укосів відвалу, а положення рівневої поверхні обводненої зони характеризується абсолютними відмітками 25,0...29,0 м.

Таблиця 4.5 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в м.о. 26...90 при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/добу

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	0,690	-	0,551	0,075
2	30...34	341,040	-	340,510	0,270
3	34...38	234,870	-	233,410	0,185
4	38...42	118,100	-	117,280	0,336
5	42...46	145,790	-	145,950	0,211
6	46...50	96,064	-	95,303	0,209
7	50...54	64,549	-	67,153	0,161
8	54...58	11,085	-	9,604	0,180
9	58...62	145,970	-	143,900	0,196
10	62...66	138,770	-	137,500	0,135
11	66...70	154,460	3,380	151,740	0,135
12	70...74	163,890	3,197	156,790	0,103
13	74...78	93,147	4,276	86,291	0,178
14	78...82	9,592	-	12,465	0,129
15	82...86	8,679	-	8,024	0,180
16	86...90	8,220	-	6,353	0,103
Разом		1734,916	10,853	1712,8	2,786

Відсутність значного приросту кар'єрних водопритоків, формування яких відбувається з алювіального водоносного горизонту в межах досліджуваної ділянки в умовах наближення проектного контуру кар'єру до русла р. Інгулець, обумовлена наявністю локально піднятих ділянок покрівлі київських глин в контурах проектуваного нового русла р. Інгулець, що частково перешкоджає живленню алювіального горизонту за рахунок річкових вод.

Наявність ділянок піднятого положення покрівлі київських глин сприяє утворенню в межах м.о. 46...50 і 52...58 зон осушення алювіального горизонту,

що в свою чергу свідчить про зменшення вірогідності формування на контурі східного борту кар'єру значних водопритоків. Відповідно до результатів прогностичного моделювання основні об'єми водопритоків формуються в межах м.о. 30...46 і 58...74 і становлять відповідно 839,8 м³/добу і 603,1 м³/добу.

4.3 Параметри протифільтраційної завіси на ділянці східного борту залізорудного кар'єру

Згідно прогностичним розрахункам додаткове зниження водопритоків, що формуються із алювіального горизонту за рахунок залучення поверхневого (річкового) стоку, забезпечується при спорудженні ПФЗ на західному контурі нового русла р. Інгулець із заглибленням її підшови в алевритові глини кийвського ярусу палеогену (рис. 4.21, 4.22 і 4.23).

За результатами моделювання встановлено, що при спорудженні ПФЗ шириною 0,7 м і гідравлічній проникності матеріалу завіси не вище 0,001 м/добу очікуваний водоприток в кар'єр при існуючому положенні його контуру в межах м.о. 26...90 не перевищує 540,2 м³/доб або 22,5 м³/год (табл. 4.6).

Ефективність ПФЗ в цих умовах підтверджується формуванням зон осушення алювіального горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 34...70 (рис. 4.22, табл. 4.7).

Однак, завдяки формуванню слабопроникних зон в межах східного укосу породного відвалу № 3 при спорудженні на його контурі ПФЗ можливим є збільшення потужності обводненої зони в основі відвалу, про що свідчать розрахункове положення поверхні обводненої зони на відмітках 26,0...32,0 м і ріст водопритоків в межах західного укосу до 53,9 м³/добу (див. табл. 4.7).

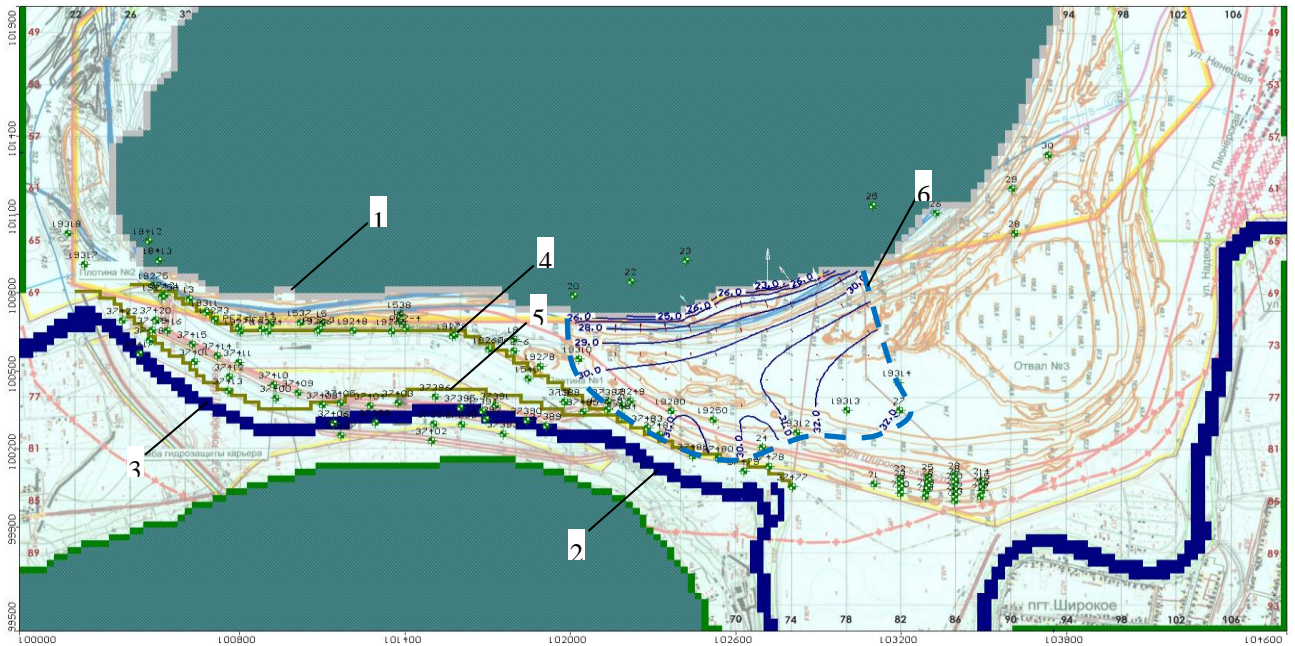


Рисунок 4.21 – Рівнева поверхня обводненої зони відвалу № 3 при проектованому положенні нового русла р. Інгулець і спорудженні нової ПФЗ: 1 – існуюче положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована ПФЗ; 6 – зона обводнення

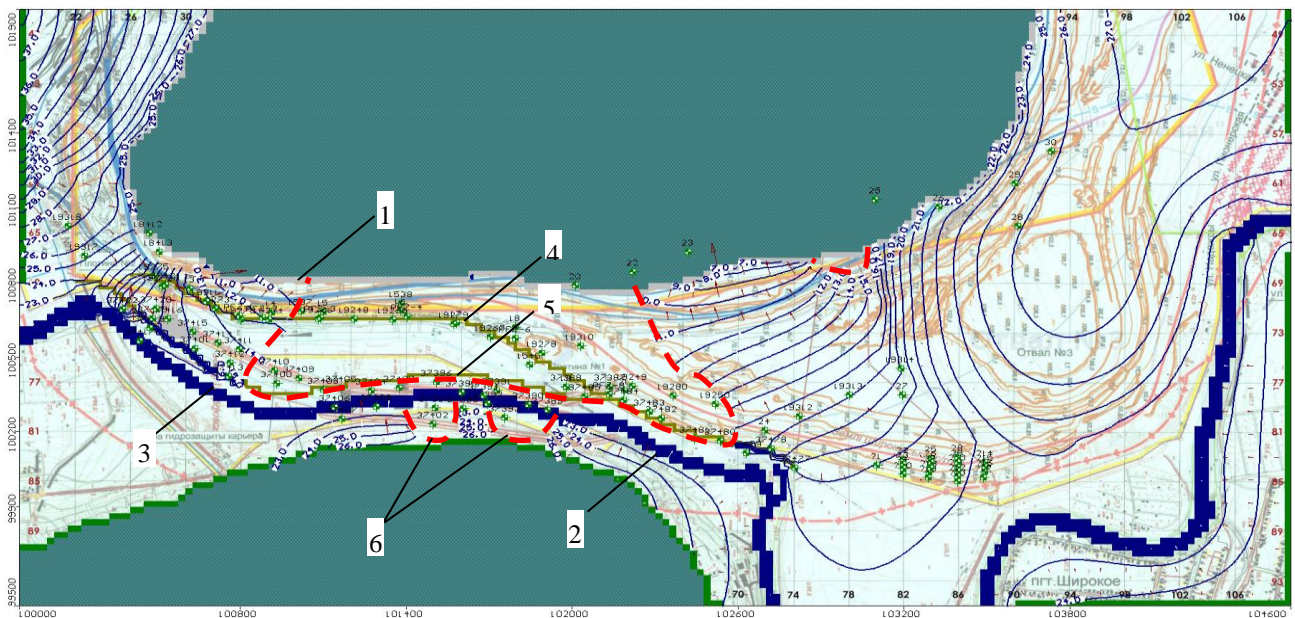


Рисунок 4.22 – Рівнева поверхня алювіального водоносного горизонту при проектованому положенні нового русла р. Інгулець і спорудженні нової ПФЗ: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована ПФЗ; 6 – зони осушення

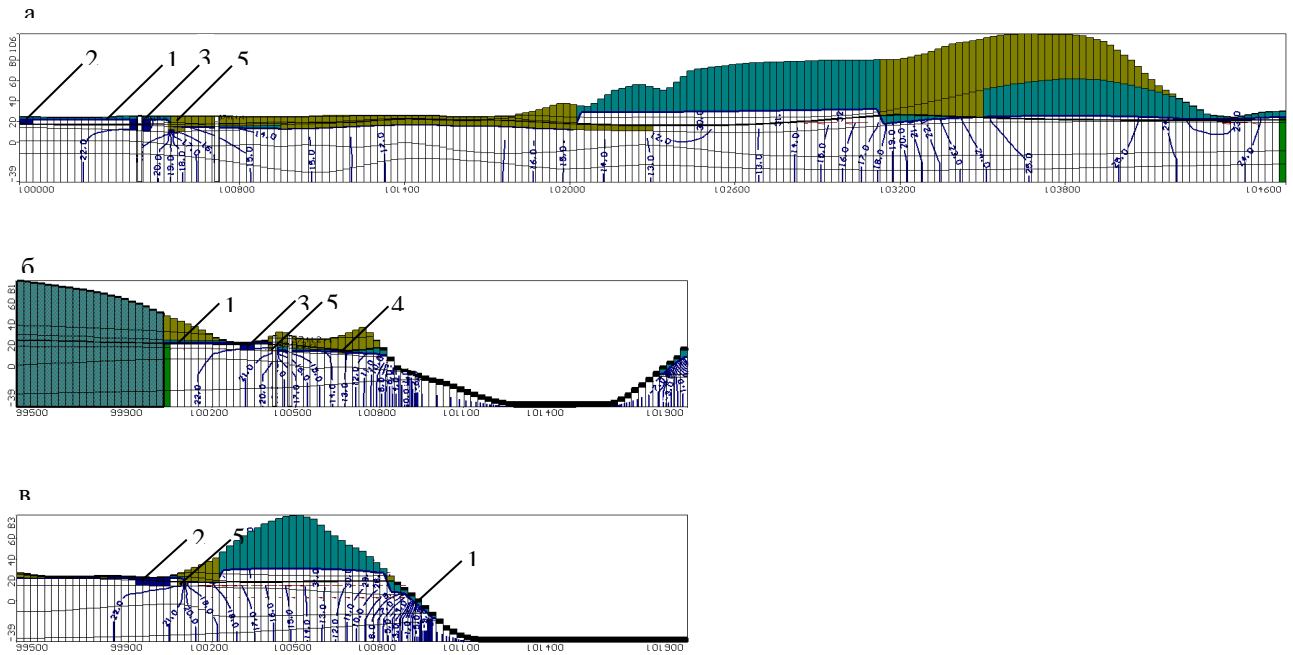


Рисунок 4.23 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване положення нового русла р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована ПФЗ

Таблиця 4.6 – Балансові складові модельованої області в умовах існуючого положення східного борту кар'єру при проєктованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової ПФЗ, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	362,122	-
Взаємозв'язок з річкою	1114,344	-1459,658
Витрати по контуру	1657,310	-64,962
Ємнісна складова	26,019	-11,797
Приток до кар'єру	-	-1626,613
- у тому числі м.о. 26...90	-	-540,183
Всього	3156,653	-3157,149
Похибка		-0,496
Нев'язка, %		-0,020

Таблиця 4.7 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в м.о. 26...90 при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової ПФЗ, м³/добу

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	26,950	-	26,790	0,103
2	30...34	138,100	-	135,326	0,155
3	34...38	25,862	-	29,568	0,105
4	38...42	12,740	-	11,214	0,109
5	42...46	0,192	-	-	0,132
6	46...50	0,198	-	-	0,113
7	50...54	0,960	-	0,855	0,061
8	54...58	0,202	-	-	0,141
9	58...62	8,620	7,688	-	0,139
10	62...66	22,910	11,813	10,103	0,097
11	66...70	128,160	10,708	117,660	0,197
12	70...74	110,190	11,626	95,677	0,115
13	74...78	33,350	10,977	24,389	0,125
14	78...82	4,520	1,119	3,368	0,168
15	82...86	6,620	-	4,496	0,173
16	86...90	20,609	-	9,252	0,129
Разом		540,183	53,931	468,698	2,062

В умовах очікуваного розвитку гірничих робіт на період 25 років спорудження ПФЗ забезпечує підтримку досягнутого зниження кар'єрних водопритоків на рівні 479,7 м³/добу (20,0 м³/год) в межах східного борту кар'єру (табл. 4.8).

За даними прогнозних розрахунків в наведених умовах формування основних об'ємів водопритоків відбувається в межах м.о. 30...34 і 70...74, а їх величини складають відповідно 183,3 м³/добу і 112,4 м³/добу (див. рис. 4.21, 4.22 і 4.23, табл. 4.9).

Таблиця 4.8 – Балансові складові модельованої області в умовах очікуваного положення східного борту кар'єру при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової ПФЗ, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	281,427	-
Взаємозв'язок з річкою	1144,455	-1422,629
Витрати по контуру	1666,661	-60,272
Ємнісна складова	7,166	-0,355
Приток до кар'єру	-	-1616,947
- у тому числі м.о. 26...90	-	-479,670
Всього	3099,709	-3100,203
Похибка		-0,495
Нев'язка, %		-0,020

Зменшення площі породного відвалу при розвитку гірничих робіт покращує його дренажність, завдяки чому розрахункове положення поверхні обводненої товщі фіксується на відмітках 23,0...28,0 м, а величини водопритоків на контурі західного укосу відвалу не перевищують 21,3 м³/добу.

Слід також відзначити, що наявність ПФЗ за умови досягнення контуром кар'єру граничного положення забезпечує збереження зони осушення алювіального горизонту в межах м.о. 54...72 (рис. 4.25).

Виконаний аналіз розрахункових даних дає підстави вважати, що необхідна ефективність ПФЗ з гідравлічною проникністю не вище 0,001 м/добу забезпечується при її спорудженні на внутрішньому контурі р. Інгулець в межах м.о. 22...74, за рахунок чого зниження кар'єрних водопритоків в межах східного борту кар'єру досягає 1255,2 м³/доб або 52,3 м³/год, в тому числі в межах його північно-східної ділянки в м.о. 58...90 – 443,4 м³/доб або 18,5 м³/год (табл. 4.5, 4.9).

Подовження ПФЗ до м.о. 90 (рис. 4.27, 4.28 і 4.29) не створює визначального впливу на величини кар'єрних водопритоків, що формуються в межах м.о. 59...98.

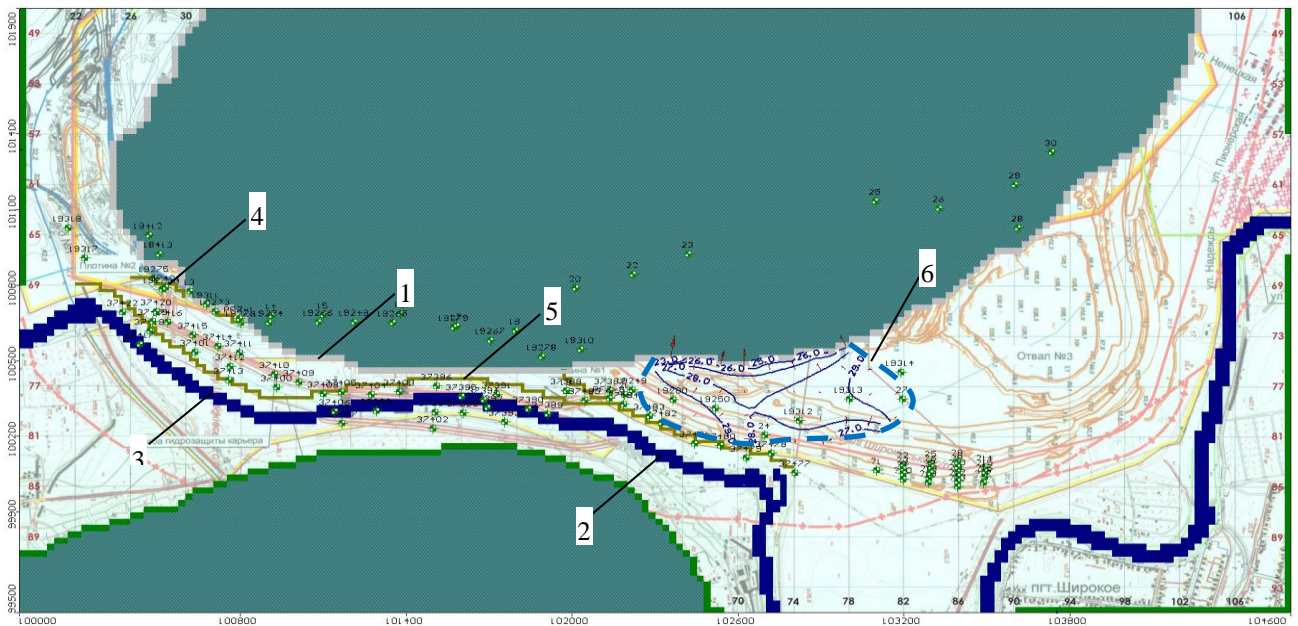


Рисунок 4.24 – Рівнева поверхня обводненої зони відвалу № 3 в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення східного борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована ПФЗ; 6 – зона обводнення

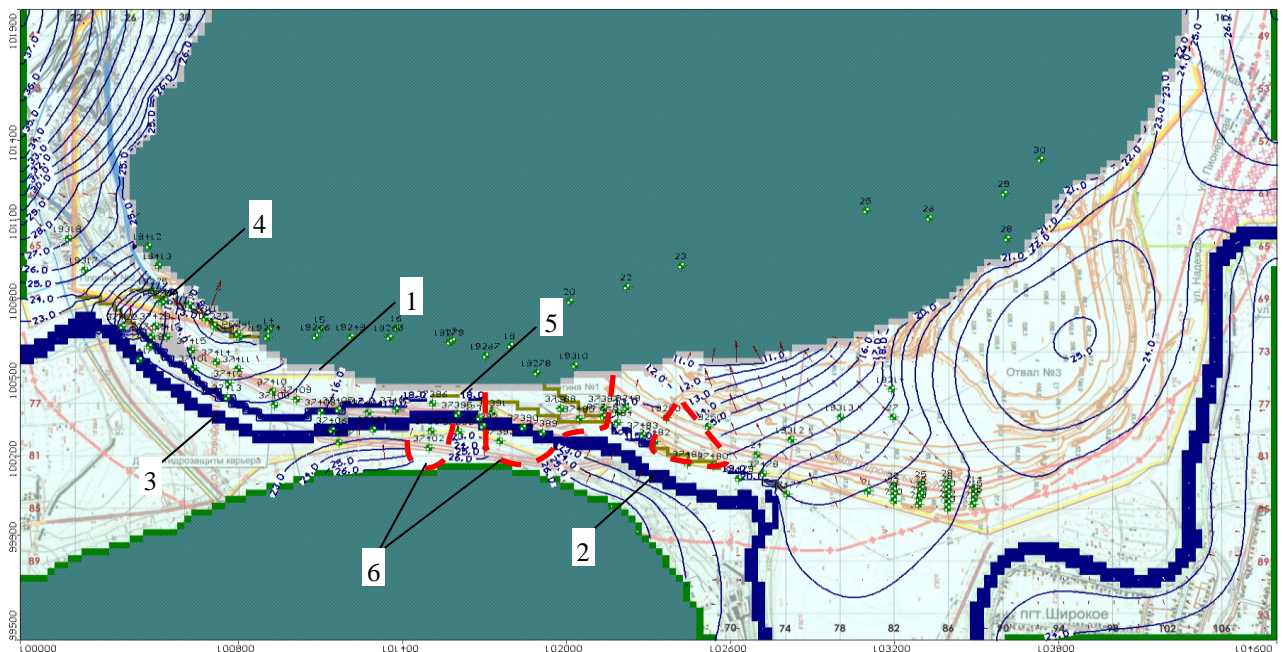


Рисунок 4.25 – Рівнева поверхня алювіального водоносного горизонту в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована ПФЗ; 6 – зона осушення

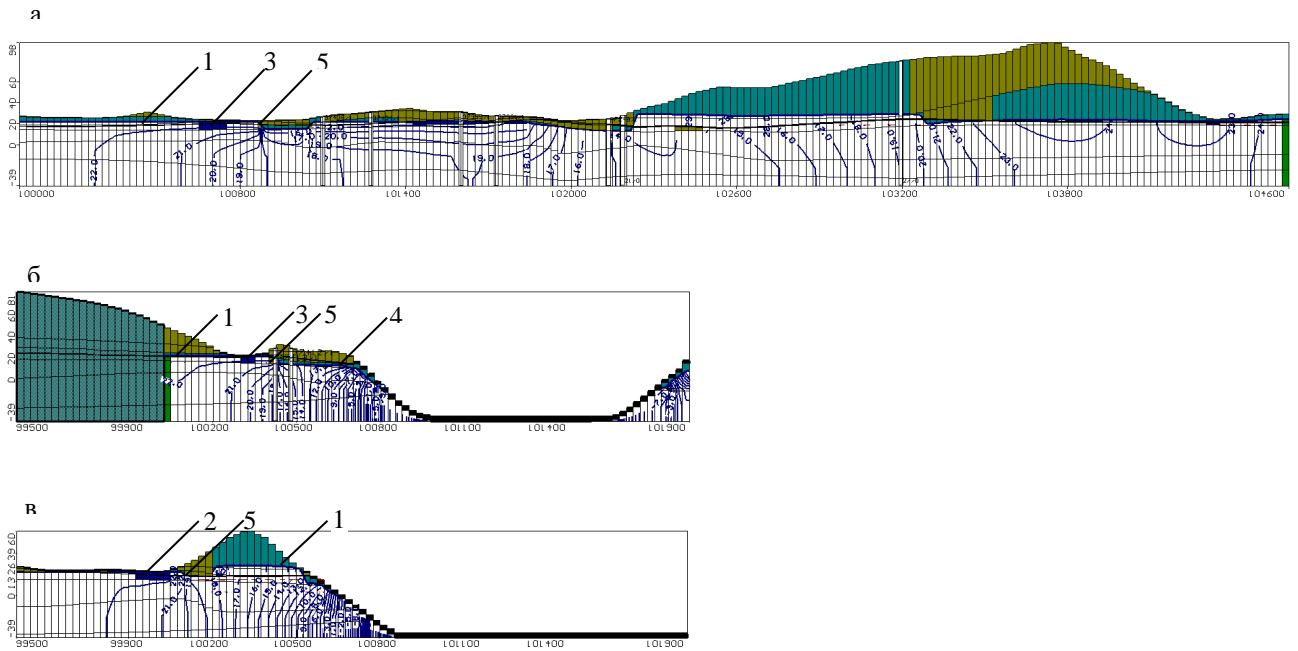


Рисунок 4.26 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території за умов проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру, а – меридіональний, б, в – широтний напрямки: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване положення нового русла р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована ПФЗ

Таблиця 4.9 – Розрахункові водопритоки східного борту кар'єру в м.о. 26...90 при проєктованому будівництві нового русла р. Інгулець, спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/добу

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	0,849	-	0,730	0,080
2	30...34	183,330	-	182,840	0,260
3	34...38	10,092	-	8,290	0,180
4	38...42	3,263	-	3,470	0,330
5	42...46	0,265	-	0,150	0,210
6	46...50	1,859	-	0,730	0,210
7	50...54	0,216	-	0,900	0,160
8	54...58	0,486	-	-	0,180
9	58...62	0,982	-	0,020	0,190
10	62...66	7,680	3,530	2,900	0,130
11	66...70	63,942	6,170	58,330	0,130

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
12	70...74	112,350	6,230	102,360	0,100
13	74...78	71,657	5,410	63,540	0,180
14	78...82	5,929	-	8,530	0,130
15	82...86	8,576	-	7,920	0,180
16	86...90	8.194	-	6,330	0,100
Разом		479,670	21,340	447,040	2,75

Так, за даними моделювання встановлено, що при спорудженні додаткової ділянки ПФЗ в межах м.о. 74...90 зниження водопритоків до північно-східного борту кар'єру не перевищує 147,2 м³/добу або 6,1 м³/год (табл. 4.10, 4.11).

Крім того, спорудження ПФЗ в інтервалі повного розрізу алювіальних відкладень на ділянці її подовження в м.о. 74...90 може перешкоджати розвантаженню ґрунтових вод з обводненої зони у підшві породного відвалу і, як наслідок, створювати передумови для порушення стійкості східного укосу відвалу (див. рис. 4.27).

Таблиця 4.10 – Балансові складові модельованої області в умовах очікуваного положення борту кар'єру при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової подовженої ПФЗ, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Інфільтраційне живлення	283,386	-
Взаємозв'язок з річкою	1002,057	-1426,238
Витрати по контуру	1664,296	-60,224
Ємнісна складова	10,113	-4,194
Приток до кар'єру	-	-1469,698
- у тому числі м.о. 26...90	-	-332,508
Всього	2959,862	-2960,354
Похибка		-0,492
Нев'язка, %		-0,020

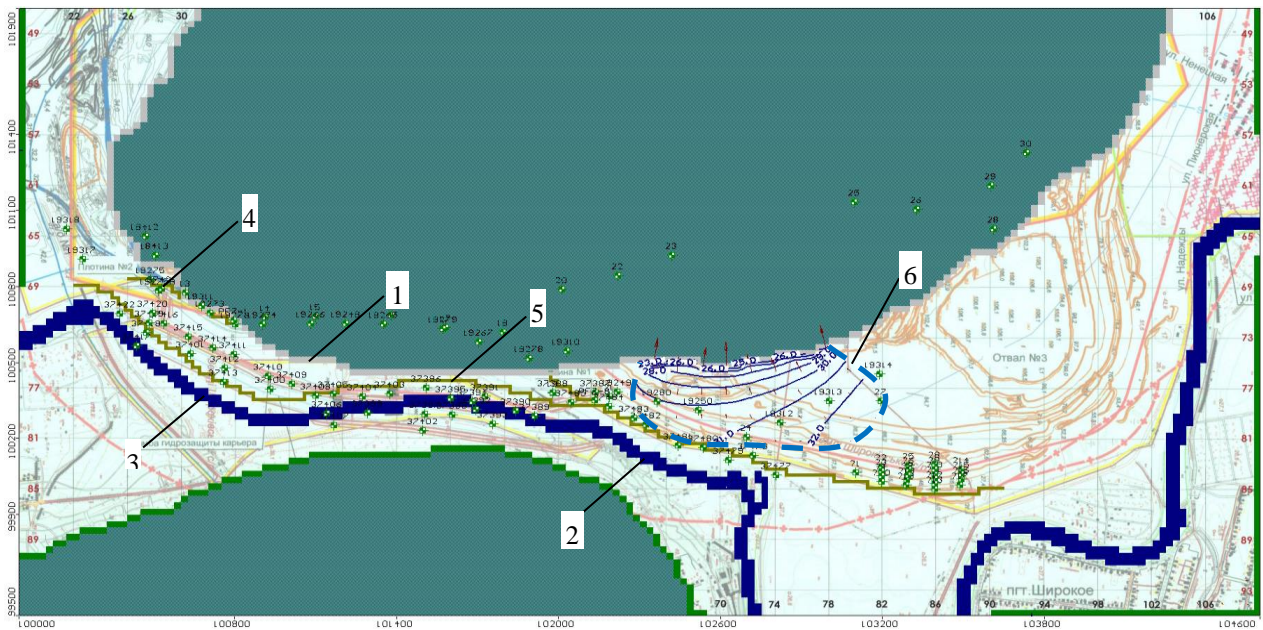


Рисунок 4.27 – Рівнева поверхня обводненої зони відвалу № 3 в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ з подовженням і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проектне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектане нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована подовжена ПФЗ; 6 – зона обводнення

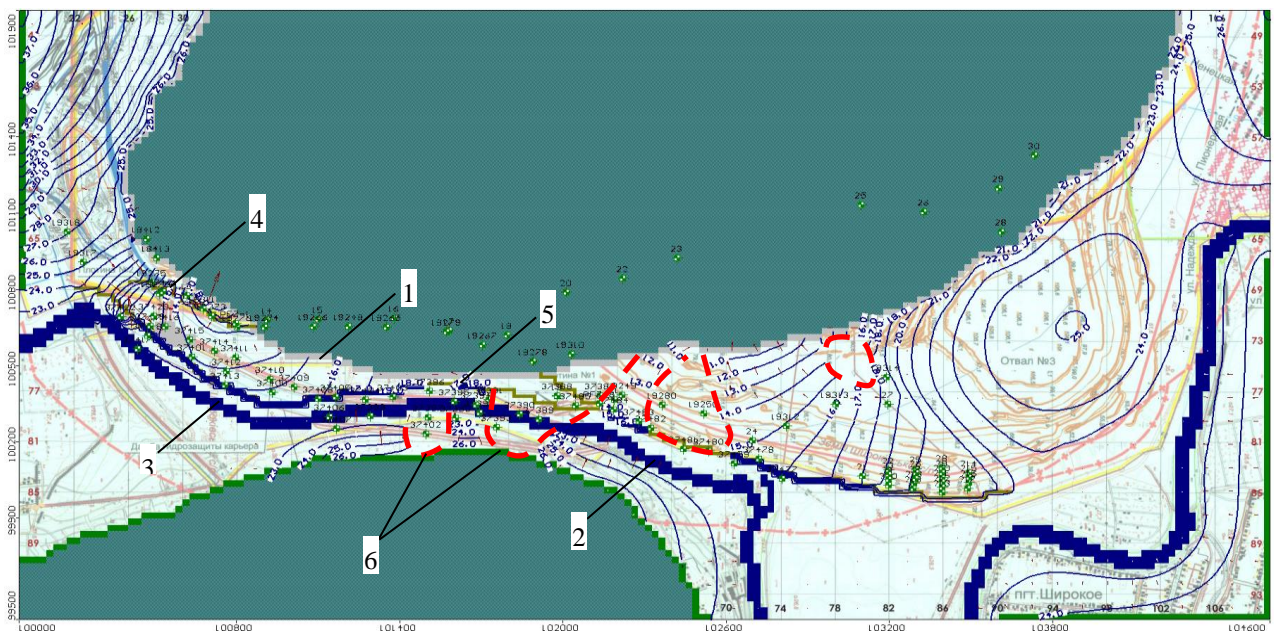


Рисунок 4.28 – Рівнева поверхня алювіального водоносного горизонту в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ з подовженням і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проектне положення борту кар'єру; 2, 3 – відповідно існуюче і проектане нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована подовжена ПФЗ; 6 – зона осушення

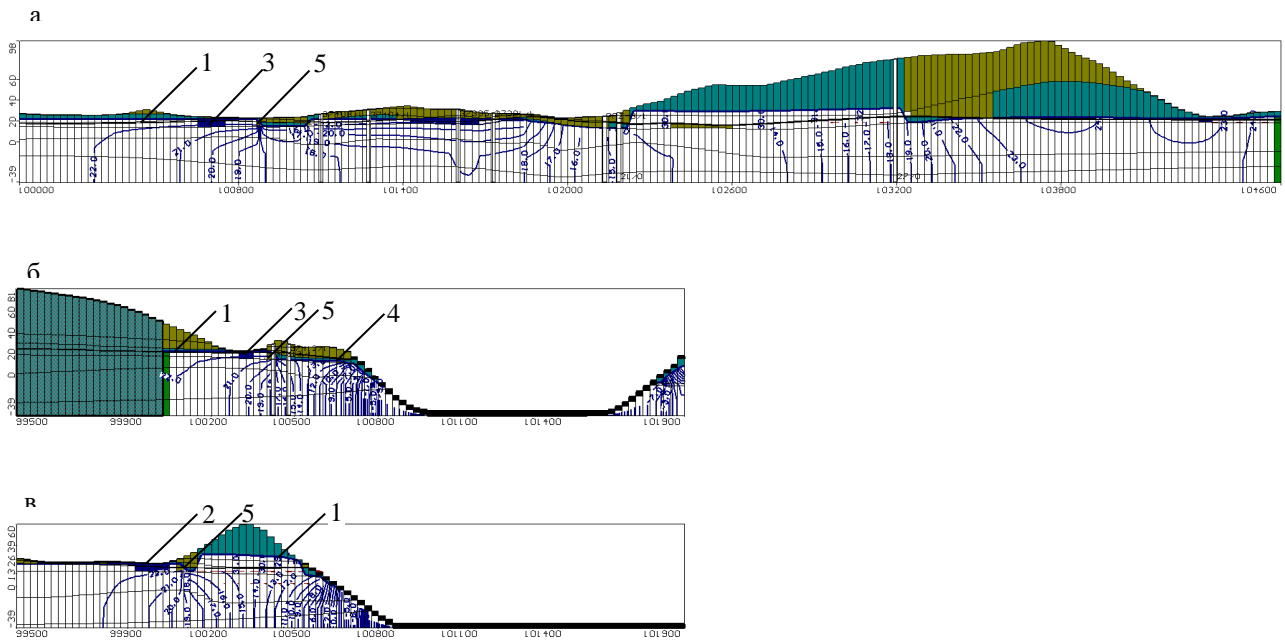


Рисунок 4.29 – Гідродинамічні профілі території в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру, а – меридіональний, б, в – широтний напрямки: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване положення нового русла р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована подовжена ПФЗ

Таблиця 4.11 – Розрахункові водопритоки борту кар'єру в м.о. 26...90 при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець, спорудженні нової подовженої ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/добу

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
1	26...30	0,813	-	3,307	0,075
2	30...34	183,720	-	183,220	0,260
3	34...38	10,093	-	8,289	0,177
4	38...42	3,267	-	3,478	0,328
5	42...46	0,265	-	0,150	0,208
6	46...50	1,895	-	0,731	0,208
7	50...54	1,041	-	1,698	0,160
8	54...58	0,570	-	-	0,177
9	58...62	0,982	-	0,004	0,188
10	62...66	6,108	4,019	0,842	0,131
11	66...70	22,486	9,593	13,448	0,131

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /добу			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
12	70...74	53,430	12,643	37,240	0,101
13	74...78	28,942	11,366	14,783	0,175
14	78...82	2,489	-	4,871	0,129
15	82...86	8,341	-	7,685	0,179
16	86...90	8,066	-	6,194	0,103
Разом		332,508	37,621	285,94	2,73

Отримані за результатами геофільтраційного моделювання величини кар'єрних водопритоків в межах східного борту кар'єру в умовах реалізації різних варіантів технічних рішень зведені до порівняльної таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Порівняння розрахункових водопритоків в межах східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в м.о. 26...90

№ ділянки	Маркшейдерські осі	Водоприток, м ³ /год					
		Обернена задача зі старою ПФЗ	Нове русло без нової ПФЗ	Нове русло з новою ПФЗ	Граничний контур без нової ПФЗ	Граничний контур з новою ПФЗ	Граничний контур з новою подовженою ПФЗ
1	26...30	1,052	1,086	1,123	0,029	0,035	0,034
2	30...34	12,626	10,100	5,754	14,210	7,639	7,655
3	34...38	8,811	5,627	1,078	9,786	0,421	0,421
4	38...42	13,200	6,721	0,531	4,921	0,136	0,136
5	42...46	5,983	0,395	0,008	6,075	0,011	0,011
6	46...50	6,365	0,421	0,008	4,003	0,077	0,079
7	50...54	9,504	2,983	0,040	2,690	0,009	0,043
8	54...58	8,699	2,447	0,008	0,462	0,020	0,024
9	58...62	4,690	2,531	0,359	6,082	0,041	0,041
10	62...66	7,433	6,779	0,955	5,782	0,320	0,255
11	66...70	10,379	10,322	5,340	6,436	2,664	0,937
12	70...74	6,658	6,608	4,591	6,829	4,681	2,226
13	74...78	2,217	2,270	1,390	3,881	2,986	1,206
14	78...82	0,195	0,219	0,188	0,400	0,247	0,104
15	82...86	0,280	0,280	0,276	0,362	0,357	0,348
16	86...90	0,862	0,860	0,859	0,343	0,341	0,336

Всього	98,955	59,648	22,508	72,288	19,986	18,271
Приріст по контуру кар'єру		-39,31	-76,45	-26,67	-78,97	-80,68

Згідно з наведеними даними при закладенні протифільтраційної завіси в межах м.о. 26...90 у відповідності до розглянутих схем гідрозахисту східного борту кар'єру зниження кар'єрних водопритоків в абсолютному вираженні складає 76,45...80,68 м³/год, що відповідає зниженню загального водопритоку з осадового водоносного комплексу в межах східного борту на 77...81,5% відносно існуючого.

Однак, у варіанті з подовженням протифільтраційної завіси до м.о. 90 вона буде перешкоджати розвантаженню ґрунтових вод з обводненої зони у підшві породного відвалу № 3, створюючи тим самим додатковий підпір підземних вод по контуру його східного укусу, і, як наслідок, будуть передумови для порушення його геомеханічної стійкості.

У цьому випадку найбільш ефективним буде закладення протифільтраційної завіси в межах східного борту кар'єру на ділянці м.о. 26...74 із матеріалу з гідравлічною проникністю не вище 0,001 м/добу, шириною до 0,7 м, із заглибленням в палеогенові глини та закладенням її верху не вище ординарної відмітки рівня води в р. Інгулець

4.4 Заходи щодо стабілізації геотехнічного стану породних масивів в зоні впливу техногенного водообміну

4.4.1 Заходи щодо стабілізації деформаційних процесів на прилеглих до гірничорудних підприємств територіях

В умовах прилеглих до гірничо-видобувних підприємств територій фільтрація технічних вод з хвостосховищ спричинює суттєве порушення режиму підземних вод в межах всього гідрогеологічного району [36].

Після початку роботи збагачувальних фабрик двох комбінатів сформувався водоносний горизонт четвертинних відкладів, який, таким чином, має техногенне походження. Хімічний склад підземних вод цього горизонту має сульфатно-хлоридний склад, вміст солей коливається від 1,3 до 11,9 г/л. Робота гірничо-збагачувальних комбінатів суттєво вплинула також на стан понтично-сарматського водоносного горизонту, який на 70...80% формується за рахунок втрат технічної води. В зв'язку з цим рівень підземних вод цього горизонту підвищився на 15,0...20,0 м. Підтвердженням техногенного забруднення водоносних горизонтів є близькість хімічного складу їх води і технічної води хвостосховища. Таким чином, були створені сприятливі умови для виникнення техногенного карсту [25, 32].

Для дослідження закономірностей формування гідродинамічного режиму на цій території розроблена та ідентифікована багат шарова планово-просторова геофільтраційна модель [72,124] (рис. 4.30). Відомо, що з глибиною коефіцієнти фільтрації глинистих ґрунтів, що лежать в основі гідротехнічних споруд, зменшуються при зростанні напружень (ущільненні) [3, 55], при цьому, згідно Ю.А. Норватову, при висоті гідровідвалу близько 50 м середні значення коефіцієнтів фільтрації ґрунтів основи змінюються на порядок по відношенню до їх природного залягання. При постановці і проведенні розрахунків ці фільтраційні особливості знайшли відображення в моделі.

Чисельне моделювання [83, 84, 108, 110] фільтраційних процесів на досліджуваній території доводить вплив перетоку техногенних високомінералізованих вод, складованих у хвостосховища, в неогеновий водоносний горизонт. Це в свою чергу призводить до підняття рівнів підземних вод неогенового горизонту на території населеного пункту на величину близько 5,0 м. Техногенне підвищення рівня підземних вод сульфатно-хлоридної агресивності в неогеновому водоносному горизонті відбувається в товщі перевідкладених неогенових вивітрілих вапняків. Внаслідок вилуговування карбонатних порід в ґрунтовому масиві створюються передумови для виникнення розущільнень та пустот [61, 79], що можуть призводити до втрати стійкості масиву.

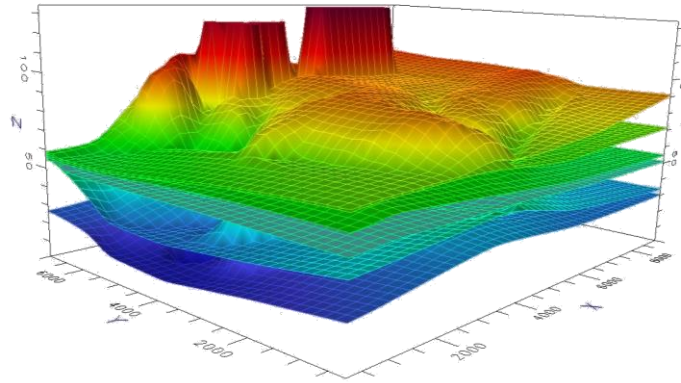


Рисунок 4.30 – Просторове представлення моделі фільтрації підземних вод в зоні впливу хвостосховищ

Дослідження [60] процесу розчинення неогенових вапняків мінералізованими водами показало значну швидкість їх вилуговування, зі збільшенням активної пористості зі швидкістю близько $11 \cdot 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ г/см²·добу.

Передбачається, що розчинення відбувається на поверхні пор, площа яких характеризується питомою поверхнею фільтрації S_f . З метою оцінки зміни пористості порід за період фільтрації мінералізованих вод, розраховано масу виносеного карбонатного матеріалу з вміщуючих порід

$$\Delta u = S_f \lambda \cdot 10^6, \text{ г/м}^3 \cdot \text{добу}, \quad (4.1)$$

де S_f – питома поверхня фільтрації породи, см²/см³; λ – швидкість вилуговування вапняку, г/см²·доб.

Об'єм породи, що виноситься становить

$$\Delta V = \frac{\Delta u}{\gamma_s \cdot 10^6}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.2)$$

де γ_s – щільність твердої частини породи, що розчиняється, г/см³.

Таким чином, за час t , доба із 1,0 м³ вапняку буде винесений об'єм

$$\Delta V_t = \Delta V \cdot t, \text{ м}^3. \quad (4.3)$$

При початковій пористості n_0 , об'єм пор становитиме

$$V_{p0} = n_0 \cdot V, \text{ м}^3, \quad (4.4)$$

де V – розрахунковий об'єм породи, що дорівнює 1,0 м³, а пористість на кінцевий період часу вилуговування n_1 становитиме

$$n_1 = \frac{V_{po} + \Delta V_t}{V}. \quad (4.5)$$

Таким чином, пористість карбонатних порід за період експлуатації ставків-накопичувачів може значно змінитися в результаті вилуговування, збільшившись в кілька разів (рис. 3.17). Оцінений параметр узгоджується з натурними даними про стан поверхні землі в районі розташування с. Новоселівка.

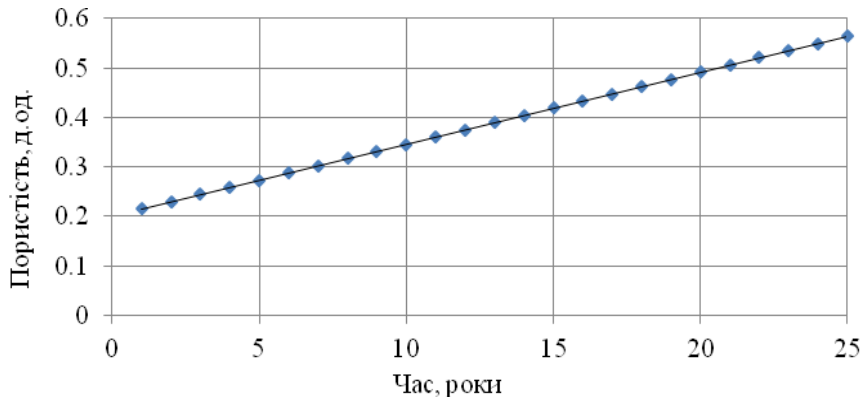


Рисунок 4.31 – Зміна пористості сарматських вапняків при вилуговуванні

Вплив мінералогічного складу частинок, що складають породу, на пружність можна встановити лише для порід, що мають незначну пористість ($n < 1\%$). При великих значеннях пористості пружність порід визначається їх структурно-текстурними особливостями (переважно пористістю, тріщинуватістю і розміром частинок). Для порід з високою пористістю ($n > 10\%$) величина модуля пружності буде повністю визначатися пористістю [75]. Так, для різних ґрунтів [22, 113], зростання пористості на 30% призводить до зниження модуля деформації в 2...3 і більше разів. Таким чином, тривалий вплив техногенних вод на карбонатні відклади на території с. Новоселівка може призводити до розчинення значної частини товщі вапняків і утворення в межах неї пустот і ослаблених зон.

В наведених умовах у якості найбільш доцільного заходу щодо забезпечення стабілізації негативних деформаційних процесів, викликаних впливом техногенного водообміну об'єктів гірничорудних підприємств, слід розглядати застосування ґрунтоцементного закріплення інтервалу вилуговування карбонатних порід.

4.4.2 Водорегулювальні заходи для стабілізації гідродинамічного режиму в зоні впливу шламонакопичувача

З метою обґрунтування доцільних водорегулювальних заходів при рекультивациі шламонакопичувача на основі встановлених факторів та умов формування рівневого режиму підземних вод виконане моделювання геофільтраційних процесів в межах розташування шламонакопичувача б. Ясинова, в 1,6 км від смт. Карнаухівка Дніпропетровської обл. [104].

Проект гідршламовидалення в балку Ясинова для Дніпродзержинського АТЗ розроблений у 1958 р. інститутом «Харківський ВОДОКАНАЛПРОЕКТ», за яким будівництво шламонакопичувача намічалось в дві черги, кожна з терміном експлуатації 10 років.

У 1961 р. за робочими кресленнями інституту «Харківський ВОДОКАНАЛПРОЕКТ» I черга була побудована і здана в експлуатацію. Шламонакопичувач призначався для складування золи теплосилового цеху на твердому паливі. Відповідно до початкового проекту шламонакопичувач експлуатувався з 1961 по 1968 рік.

Починаючи з 1969 р. згідно з робочим проектом, виконаним Дніпродзержинською філією ГІАП, у шламонакопичувачі складувався шлам цеху твердого регенерованого поглинача.

Відмітка гребеня греблі за проектом 125,00 м, нормальний підпертий горизонт (НПГ) рідини – 121,2 м. У 1976 р. у зв'язку з зашламуванням за результатами вишукувань, виконаних Дніпропетровською філією інституту «УКРСХІДДІНВ», інститутом «Харківський ВОДОКАНАЛПРОЕКТ» розроблена II черга будівництва шляхом реконструкції споруд I черги з забезпеченням необхідної додаткової ємності. Нарощена гребля до відмітки 129,8 м і НПГ – 127,8 м, із загальною висотою греблі до 25 м.

Накопичувач виведений з експлуатації в 1986 р. У 1990 р. інститутом «УКРСПЕЦБУДПРОЕКТ» розроблений проект рекультивациі, яка почалася в 1992 р.

Аналіз геоморфологічних особливостей досліджуваної території, геолого-літологічної будови і гідрогеологічних умов показав, що формування гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці розташування шламонакопичувача в б. Ясинова відрізняється наступними особливостями.

Характер фільтрації в значній мірі визначається складністю і розчленуванням рельєфу в балці Ясинова, де розташований шламонакопичувач (рис. 4.32). Досить круті схили балки та техногенний характер рельєфу суттєво впливають на умови живлення та розвантаження підземних вод, сприяючи як формуванню їх додаткового інфільтраційного живлення на ділянках штучно перевідкладених ґрунтів (рис. 4.33), так і втратам підземного стоку за рахунок височування води на ділянках виходу водотриву на денну поверхню та випаровування з дзеркала ґрунтових вод (рис. 4.34).



Рисунок 4.32 – Характер рельєфу верхів'я балки Ясинова на ділянці розташування шламонакопичувача



Рисунок 4.33 – Особливості будови штучних ґрунтів в межах спланованих ділянок в верхів'ї балки Ясинова



Рисунок 4.34 – Ознаки виходу на денну поверхню підземних вод та їх височування в тальвезі балки Ясинова

Основним водоносним горизонтом є обводнена товща середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних і елювіальних та сучасних алювіально-делювіальних відкладень у тальвезі балки.

В силу особливостей рельєфу живлення водоносного горизонту здійснюється переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а його розвантаження – у тальвезі балки, про що свідчить характер рівневої поверхні в межах розглянутої площі (див. рис. 4.35). В цих умовах основна частка інфільтрацій-

ного живлення припадає на вододільні ділянки з відмітками поверхні 155,0...175,0 м, а в межах схилових ділянок, де ухили поверхні сягають 12...25°, переважна частина атмосферних опадів у вигляді поверхневого стоку йде в тальвег балки, де бере участь у формуванні гідравлічного об'єму чаші шламо-накопичувача.

Деформація рівневої поверхні водоносного горизонту в межах ерозійного врізу свідчить про незначну водопровідність вміщуючих порід у межах вододільних і схилових ділянок балки і гарної дренаваності її тальвегу.

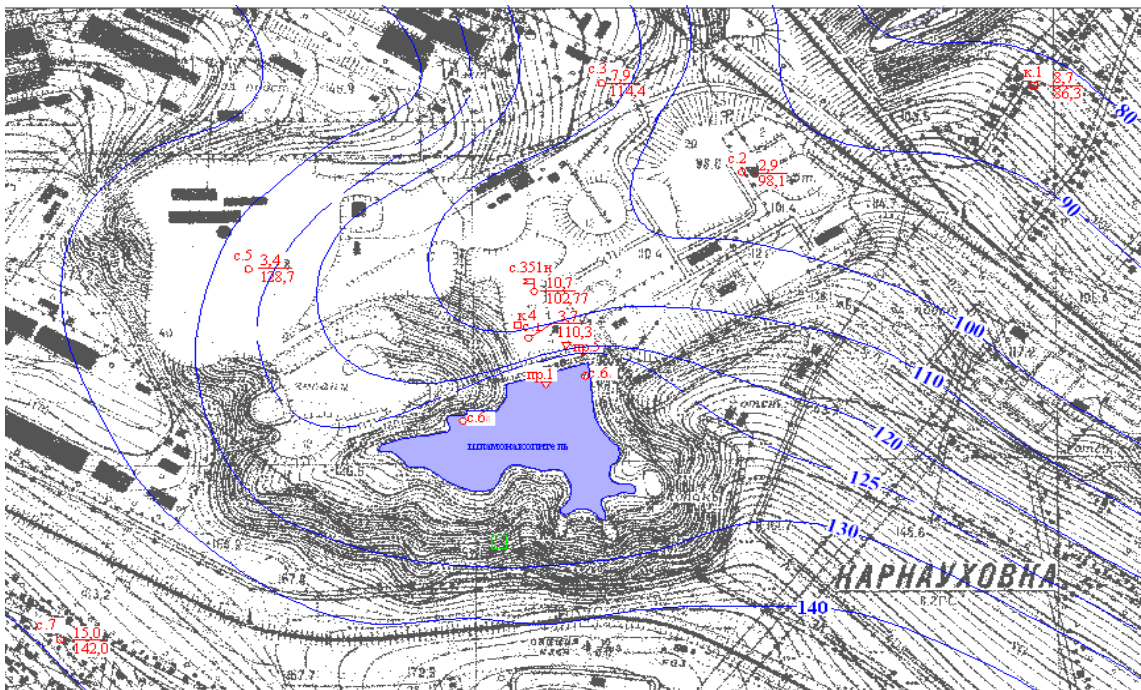


Рисунок 4.35 – Характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за даними інженерно-геологічних вишукувань

Останнє пов'язане як з високою проникністю балкового делювію, так і наявністю в тальвегу балки добре проникних ґрунтів штучного походження і зон височування, що забезпечує сприятливі умови для розвантаження четвертинного водоносного горизонту в поверхневі водотоки.

До характерних рис четвертинного водоносного горизонту в межах розглянутої території варто також віднести нерівномірне обводнення водовміщую-

чих відкладень, що знаходить своє відображення в характері рівневої поверхні підземних вод у межах ерозійного врізу балки і її відвершків.

Техногенний вплив шламонакопичувача на гідродинамічний режим розглянутої території визначається, з одного боку, підпором рівневої поверхні в межах верхових ділянок балки, з іншого боку – участю вод шламонакопичувача в живленні ґрунтового водоносного горизонту на його нижньому контурі.

Співвідношення балансових складових на ділянці розташування шламонакопичувача в б. Ясинова може бути представлене так, як це показано на рис. 4.36.

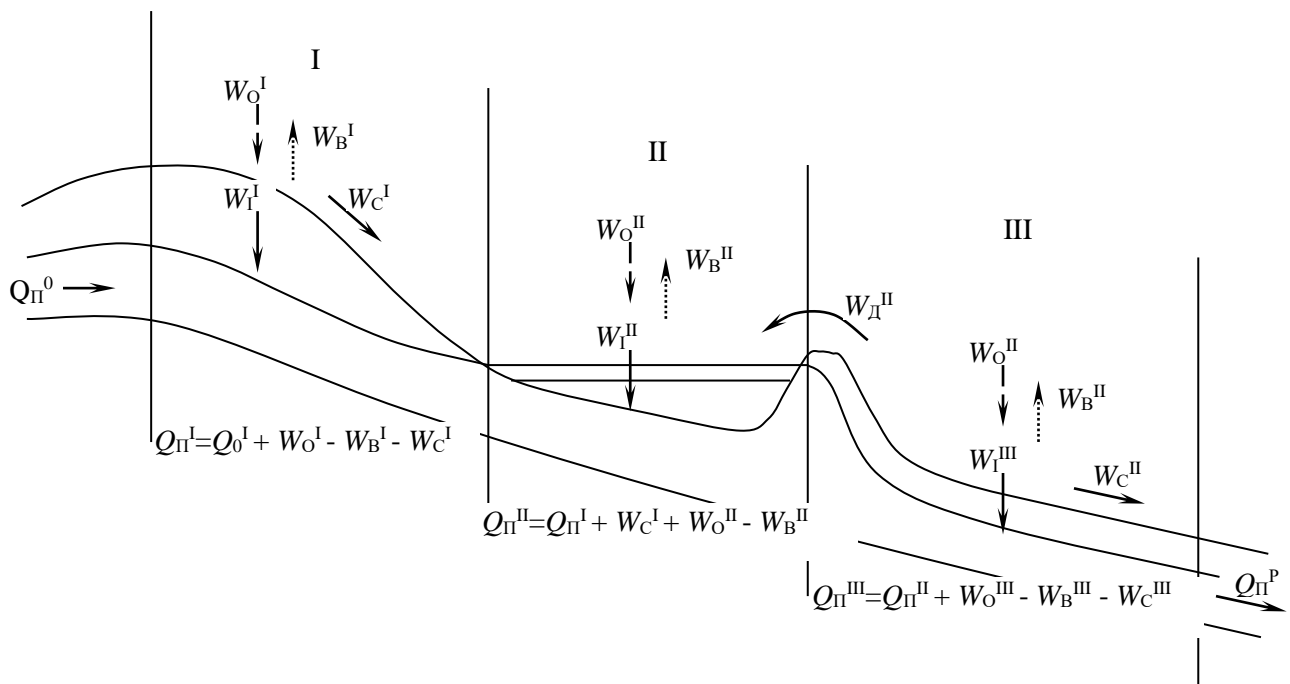


Рисунок 4.36 – Схема до оцінки балансових складових гідродинамічного режиму на ділянці шламонакопичувача в б. Ясинова

Для вивчення впливу шламонакопичувача на гідрогеологічні умови досліджуваної території та кількісної оцінки балансових складових у гідродинамічному режимі виконане моделювання геофільтраційних процесів з використанням чисельної моделі, реалізованої на базі методу кінцевих різностей.

Модель представлена областю фільтрації розмірами 1250 м у меридіональному напрямку і 3500 м – у широтному. Розмір розрахункових блоків моделі 25x25 м, площа модельованої області – 1,546 км² (рис. 4.37).

Гідродинамічно досліджувана територія представлена в межах вододільних контурів водозбірної площі балки границями з постійними витратами, що відповідає характеру живлення з боку суміжних територій. На контурі розвантаження водоносного горизонту задана умова віддаленої границі з забезпеченим живленням з оцінками, що відповідають рівню води в протоці Коноплянка (рис. 4.38).

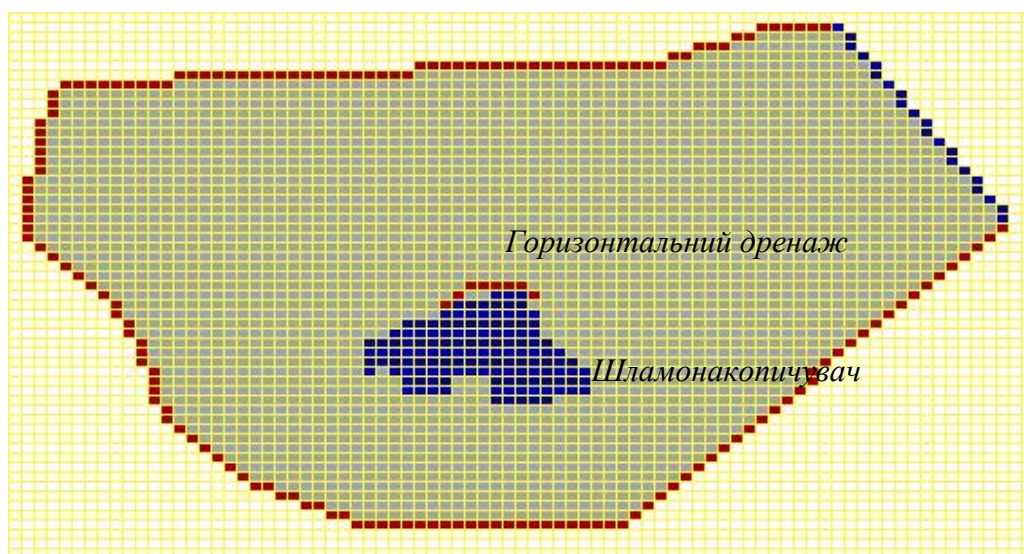


Рисунок 4.37 – Кінцево-різницева схематизація модельованої області

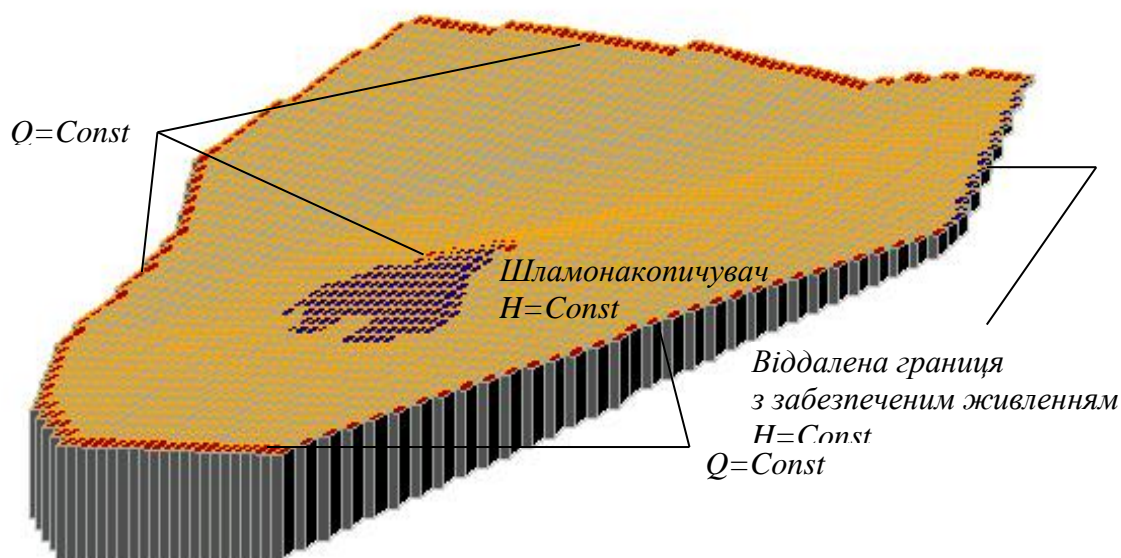


Рисунок 4.38 – Гідродинамічна схематизація модельованої області

У вертикальному розрізі геофільтраційна модель відповідно до геологічної будови й умов залягання четвертинного водоносного горизонту представлена одношаровою товщею. Представлення області фільтрації одним розрахунковим шаром в чисельній моделі обумовлено наявністю прямого гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами четвертинних відкладень схилових ділянок і тальвегу балки, наявністю потужної товщі водотривких порід неоген-нижньочетвертинного віку і відсутністю представницьких даних про розвиток у межах досліджуваної території нижче залягаючих водоносних горизонтів.

Гіпсометрична поверхня четвертинного водоносного горизонту і подошва водовміщуючих порід в чисельній моделі задані за даними розвідувального буріння у вигляді рівневих поверхонь, що дозволило деталізувати просторовий розподіл потужності водопроникних шарів і покрівлі водотривких порід.

При заданні фільтраційних параметрів за основу прийняті дані інтерпретації дослідно-фільтраційних робіт, виконаних на різних етапах інженерно-геологічних вишукувань. Значення коефіцієнта фільтрації для літологічних різностей порід лесового комплексу складає $0,1 \dots 0,7$ м/добу. Однак, з огляду на приуроченість водоносного горизонту до нижньої деградованої частини лесових відкладень, характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту, наявність неоднорідності водовміщуючих порід і добре виражених градієнтів фільтраційного потоку, в чисельній моделі в якості розрахункового прийняте значення коефіцієнта фільтрації порід $0,1$ м/добу.

Для характеристики просторової мінливості водопровідності водовміщуючих порід її значення розраховувалися в кожному блоці модельованої області в залежності від потужності водоносного горизонту (рис. 4.39) і корегувалося в процесі рішення зворотних задач. Діапазон зміни коефіцієнту водопровідності в межах модельованої області становив $0,7 \dots 1,5$ м²/добу.

Ємнісні характеристики водопроникних порід визначалися коефіцієнтом водовіддачі, значення якого для розрахункових шарів відповідно до розглянутих гідрогеологічних умов і типу відкладень прийнято рівним $0,01$.

Характер рівневої поверхні підземних вод ґрунтового водоносного горизонту встановлений за даними розвідки в 2008 р. і уточнений у процесі проведення інженерно-геологічних вишукувань у листопаду-грудні 2009 р. з урахуванням впливу на гідродинамічний режим шламонакопичувача.

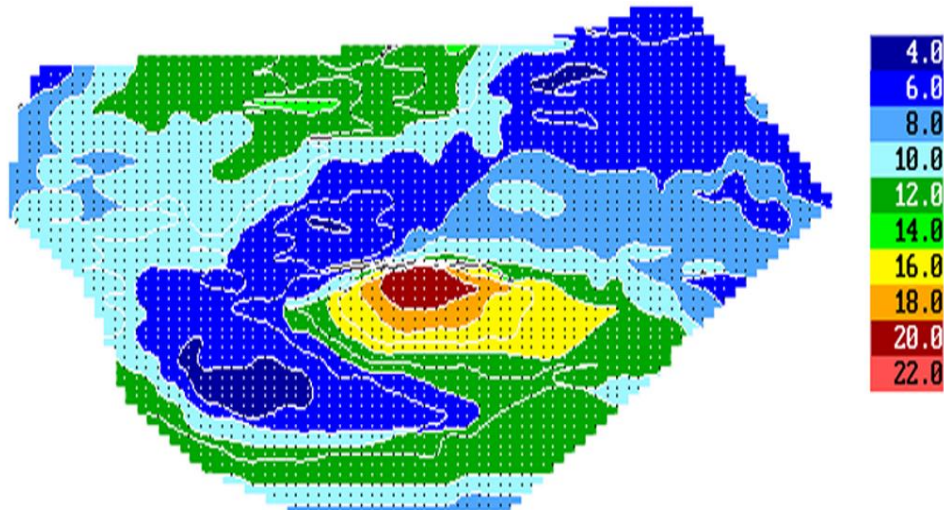


Рисунок 4.39 – Потужність водоносного горизонту четвертинних відкладень в межах модельованої області, м

Граничні умови в моделі визначені з наявності на контурі області фільтрації віддаленої границі з забезпеченим живленням – протоки Коноплянка, тобто умови першого роду $H = Const$. Вплив віддаленої границі в моделі враховувався введенням параметра взаємозв'язку підземних і поверхневих вод [40]

$$DL = \frac{TS \cdot N}{L + \Delta L}, \quad (4.6)$$

де TS – водопровідність водомісткої товщі; N – довжина контуру водойми в розрахунковому блоці; L – відстань від центра блоку до контуру водойми; ΔL – гідродинамічна недосконалість.

Встановлена за даними дослідних робіт і режимних спостережень величина гідродинамічної недосконалості складає в середньому $\Delta L = 250$ м. Враховуючи віддаленість границі $H = Const$ при середніх значеннях водопровідності водоносного горизонту $TS = 1,0$ м²/добу значення параметру взаємозв'язку на

контурі модельованої області становить $DL = 0,027$ м²/добу при відстані до контуру живлення $\Delta L = 900$ м.

Аналогічним чином враховано вплив шламонакопичувача. Практично незмінне положення рівня води в чаші накопичувача, яке спостерігалось протягом тривалого часу, свідчить про формування на контурах його площі в існуючих гідрогеологічних умовах границь із забезпеченим живленням, тобто $H = Const$.

Параметри взаємозв'язку між поверхневими і підземними водами на ділянці шламонакопичувача встановлені виходячи із загальної водопровідності порід і матеріалу в чаші накопичувача і склали $DL = 0,7 \dots 1,0$ м²/добу.

Граничні умови на бічних ділянках області фільтрації оцінювалися виходячи з балансу геофільтраційної моделі при рішенні зворотних задач і задавалися умовою сталості витрат $H = Const$. Робота дренажних споруд в нижньому б'єфі також імітувалась завданням контуру з граничною умовою $H = Const$, причому, витрати на цьому контурі відповідали фактичному водовідбору і становили 4,0 м³/добу.

Величина інфільтраційного живлення оцінена з урахуванням особливостей досліджуваної території і склала 10,0...20,0 мм/рік.

Для врахування розвантаження водоносного горизонту в поверхневій водотоки в межах тальвегу б. Ясинова в чисельну модель був введений коефіцієнт інтенсивності височування, яким забезпечувалась можливість підтримки рівня підземних вод на відмітках, що не перевищують відміток денної поверхні на понижених ділянках рельєфу. Його значення розраховано виходячи з коефіцієнту фільтрації порід в межах зони аерації та її потужності і склало 0,2 добу⁻¹.

Збіжність чисельних розрахунків визначалась в процесі рішення епігнозних задач згідно балансовим складовим моделі і початковому положенню рівневої поверхні в четвертинному водоносному горизонті.

Рішення обернених задач являло собою сукупність розрахунків, у процесі яких оцінювався вплив на рівні підземних вод послідовних змін інфільтраційного живлення, водопровідності та параметрів взаємозв'язку підземних і поверхневих вод.

Варіативна зміна інфільтраційного живлення показала, що його збільшення викликає невиправдано високий підйом рівнів у водоносному горизонті при забезпеченому розвантаженні підземних вод у тальвезі балки, а підвищення водопровідності водовміщуючих порід приводить до осушення горизонту в межах вододільних і схилових ділянок балки.

У цьому зв'язку прийняті в якості розрахункових параметри водопровідності водомісткої товщі та інфільтраційного живлення є найбільш обґрунтованими і забезпечують загальний баланс модельованої області.

Створена гідродинамічна модель ґрунтового водоносного горизонту на етапі вирішення зворотних задач дозволила виконати оцінку балансових складових модельованої області за умови впливу на гідродинамічний режим шламонакопичувача в б. Ясинова. Рівневі поверхні четвертинного водоносного горизонту (рис. 4.40), отримані за результатами обернених розрахунків, відображують існуючий характер живлення та розвантаження підземних вод в межах контурів досліджуваної території.

Аналіз результатів моделювання показав, що основним джерелом живлення водоносного горизонту є інфільтрація атмосферних опадів, частково – підтік з прилеглих ділянок на контурах вододілів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Балансові складові модельованої області в умовах впливу шламонакопичувача, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Взаємозв'язок з річками	0,000	-18,710
Взаємозв'язок зі шламонакопичувачем	58,753	-16,786
Дренаж	0,000	-4,000
Витрати по контуру	96,800	0,000
Інфільтрація	58,070	0,000
Ємнісна складова	0,000	0,000
Височування	0,000	-175,465
Похибка		-1,342
Нев'язка (%)		-0,313

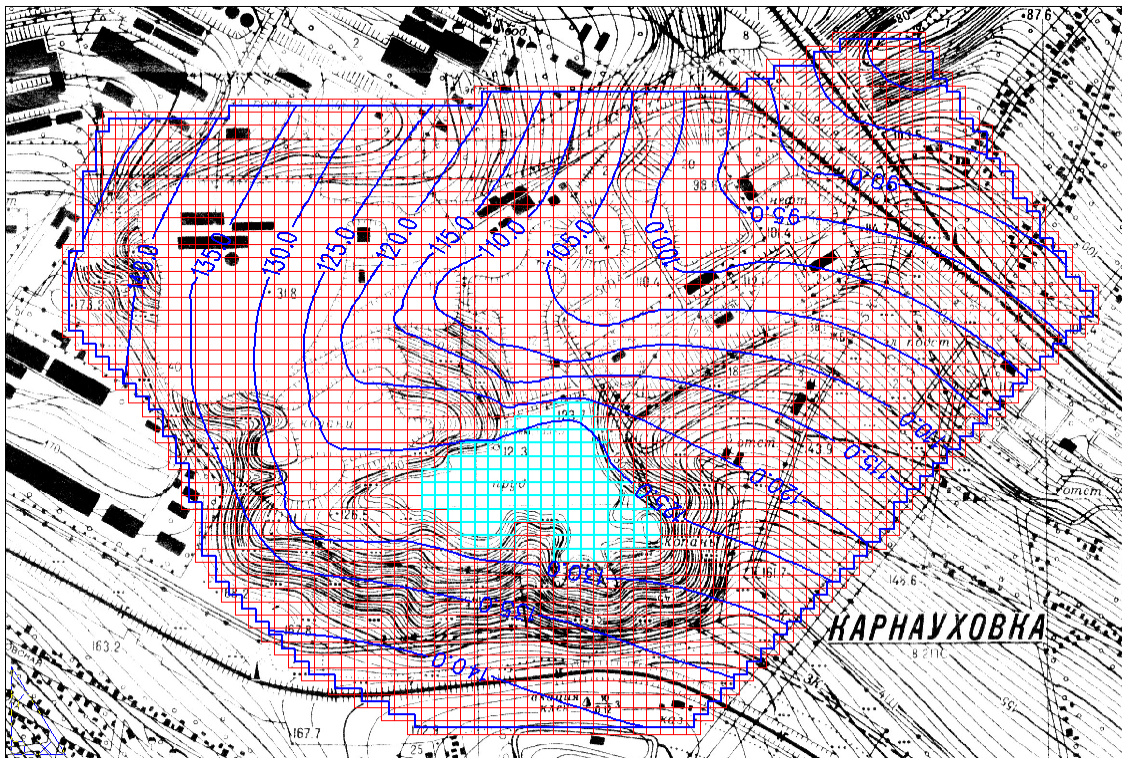


Рисунок 4.40 – Характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за результатами поверхонь моделювання в умовах впливу шламонакопичувача

Розвантаження водоносного горизонту відбувається в поверхневій водотокі тальвегу балки, причому суттєвий вплив на рівневий режим підземних вод здійснює наявність в межах понижених ділянок рельєфу зон височування, де підземні води виходять на поверхню. Крім того, в межах зон розвантаження слід відзначити існування лінійної ділянки вздовж дна балки, яка забезпечує дренажування території на рівні водопровідності $25,0 \dots 45,0 \text{ м}^2/\text{добу}$.

Безпосередньо навколо шламонакопичувача деформація рівневої поверхні обумовлена фільтраційними втратами, які суттєво перевищують розвантаження в накопичувач. Дані балансових складових модельованої області (див. табл. 4.13) свідчать про суттєвий вплив поверхневого стоку на формування гідрорежиму шламонакопичувача з однієї сторони, і додаткового контуру живлення водоносного горизонту – з другої.

В порівнянні з втратами зі шламонакопичувача величина дренажного водовідбору в нижньому б'єфі греблі є несуттєвою, і не перевищує 10% від існуючого живлення. Крім того, робота дренажних споруд майже не впливає на річковий режим прилеглої території.

За результатами балансових розрахунків величина поверхневого стоку Q_c , який приймає участь у формуванні приходної складової шламонакопичувача і витрачається на живлення підземних вод на його контурі, складає

$$Q_c = Q_n - Q_p - Q_d, \quad (4.7)$$

де Q_n – живлення водоносного горизонту за рахунок фільтраційних втрат зі шламонакопичувача, м³/добу; Q_p – розвантаження підземних вод на контурі шламонакопичувача, м³/добу; Q_d – об'єм дренажних вод, що повертається до шламонакопичувача, м³/добу.

З урахуванням викладеного, величина Q_c становить

$$Q_c = 58,753 - 16,786 - 4,000 = 37,967, \text{ м}^3/\text{добу},$$

що складає 13,858 тис. м³/рік.

Отримані на етапі обернених розрахунків результати склали основу для розробки прогнозу гідродинамічного стану досліджуваної території за умови рекультивациі шламонакопичувача і реалізації комплексу водорегулювальних заходів.

Зміна умов живлення та розвантаження четвертинного водоносного горизонту на ділянці шламонакопичувача в чисельній моделі враховувалась зміною граничних умов на його контурі. Оскільки участь поверхневого стоку в балансі шламонакопичувача сприяла формуванню контуру з забезпеченим живленням, що було враховано при виконанні зворотних розрахунків, то виключення його з балансу накопичувача в чисельній моделі відповідає видаленню з розрахунку граничної умови $H = Const$ на його контурі.

Аналогічним чином в моделі враховувалось виключення з роботи дренажної завіси – відповідно завдяки виведенню з розрахунку граничної умови $H = Const$ на контурі дренажу.

Дотримання вказаних умов відповідало прогнозованому стану досліджуваної території за умови реалізації водорегулювальних заходів.

За результатами прогнозних розрахунків в нестационарному режимі фільтрації встановлено, що виключення з гідрорежиму шламонакопичувача поверхневого стоку, що потрапляє до нього з площі водозбору, вже протягом першого року забезпечує зниження підпертих рівнів від 0,5...2,5 м на прилеглій території до 7,0...10,0 м під накопичувачем і контуром греблі.

Стан рівневої поверхні ґрунтового водоносного горизонту на періоди розрахунків 1, 3, 5 і 10 років і в стаціонарній постановці ілюструється рис. 4.41...4.43. Видно, що зміни рівневої поверхні відбуваються переважно в межах шламонакопичувача, майже не реагуючи на прилеглих територіях поза його межами. Це свідчить про відновлення гідродинамічного режиму ґрунтового водоносного горизонту на досліджуваній території до його природного стану за умови рекультивувача та реалізації водорегулювальних заходів.

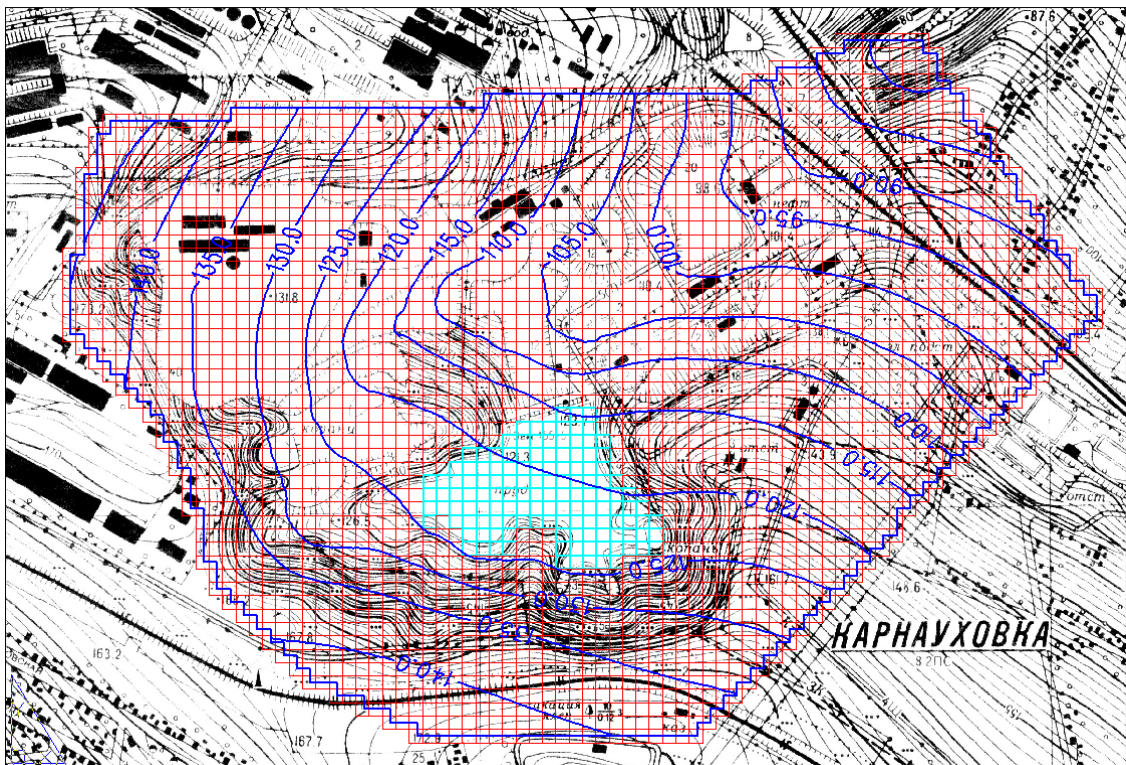


Рисунок 4.41 – Характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за результатами чисельного моделювання за умови реалізації водорегулювальних заходів на розрахунковий період 1 рік

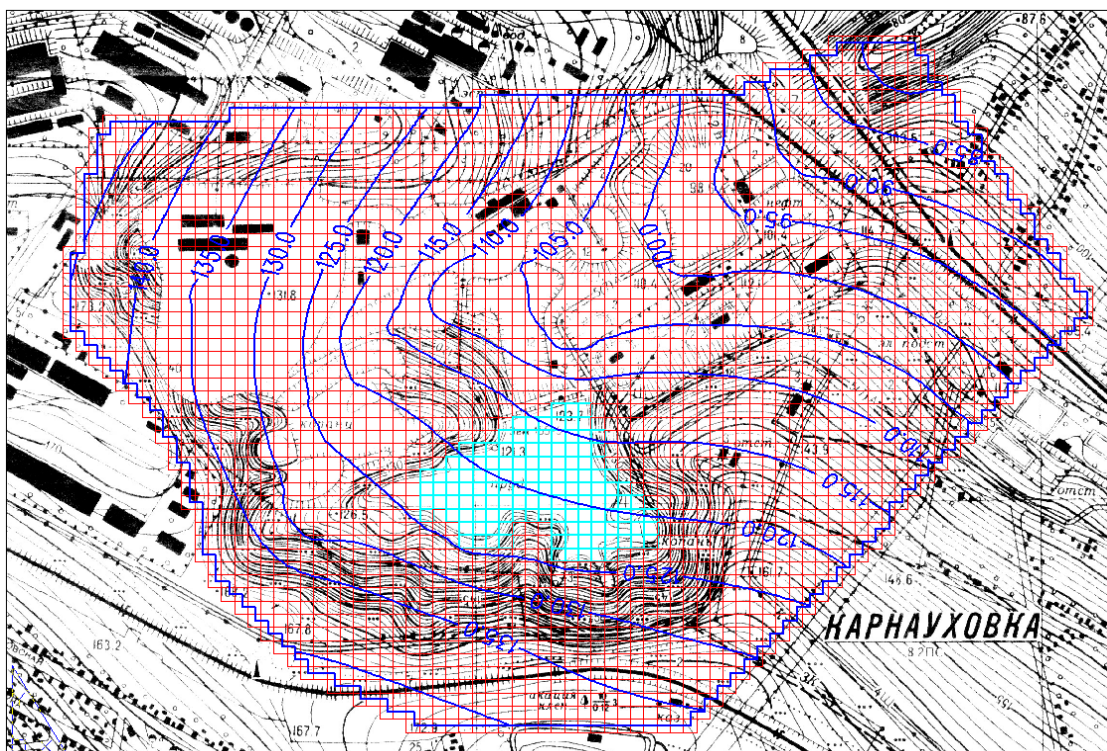


Рисунок 4.42 – Характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за результатами чисельного моделювання за умови реалізації водорегулювальних заходів на розрахунковий період 10 років

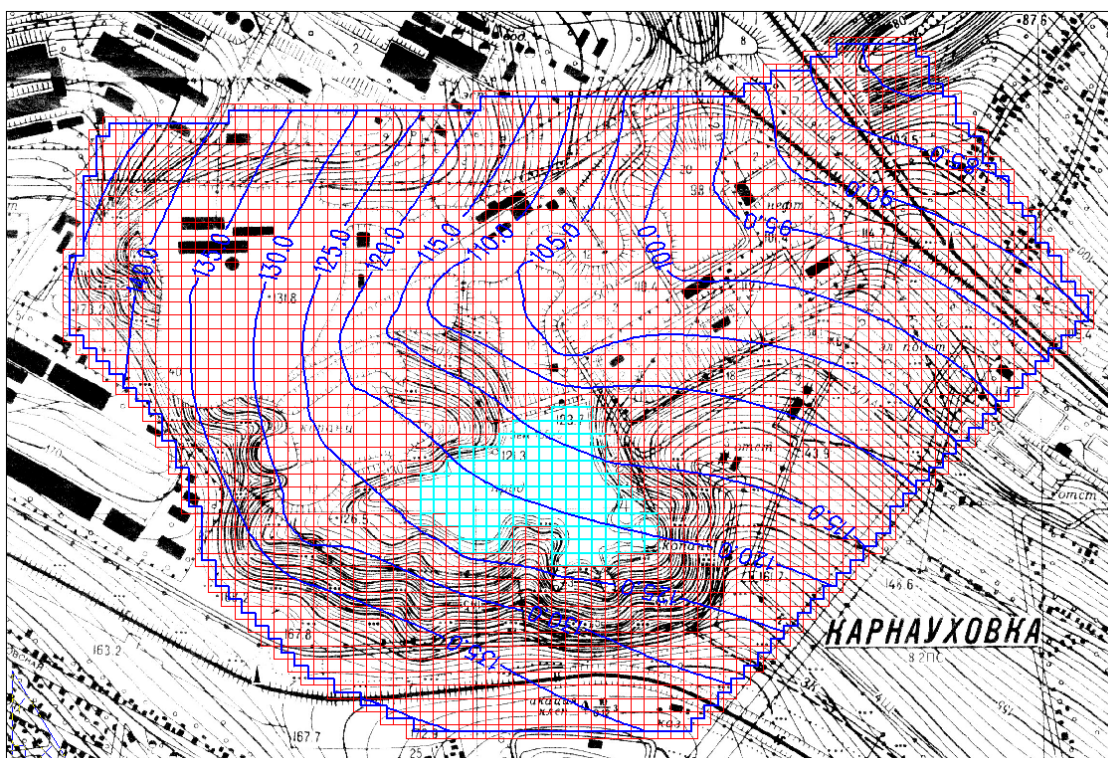


Рисунок 4.43. Характер рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за результатами чисельного моделювання за умови реалізації водорегулювальних заходів в стаціонарному режимі

Особливістю формування гідродинамічного режиму на початку рекультивації шламонакопичувача є виникнення зон височування, тобто виходу підземних вод на поверхню, в межах контурів шламонакопичувача у верхів'ї балки. Для виключення потрапляння частини підземного стоку, що трансформується в поверхневий і потрапляє до чаші шламонакопичувача, доцільно на початку реалізації водорегулювальних заходів забезпечити його відведення за межі накопичувача.

Найбільш значні зміни рівневої поверхні при проведенні водорегулювальних заходів відбуваються в межах площі, безпосередньо прилягаючої до шламонакопичувача зі сторони правої схилової частини б. Ясинова (рис. 4.44). На вказаній площі величина зміни рівнів четвертинного водоносного горизонту становить від 1,0...3,0 м на прилеглий території до 5,0...12,0 м безпосередньо в межах контуру шламонакопичувача.

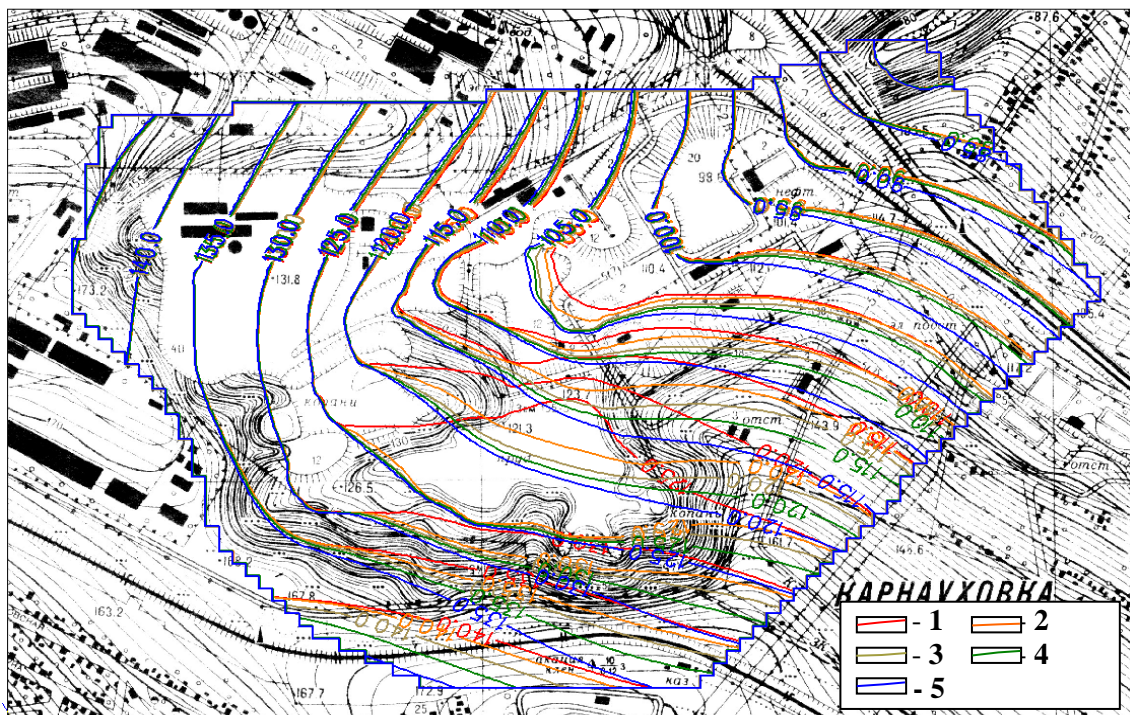


Рисунок 4.44 – Динаміка рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту при реалізації водорегулювальних заходів: 1 – в умовах впливу шламонакопичувача; 2...5 – прогнозне положення при реалізації водорегулювальних заходів на періоди відповідно 1, 3, 5 та 10 років

Слід відзначити, що величина зниження рівня підземних вод в межах шламонакопичувача до відміток 113,0...120,0 м забезпечує виключення їх фільтрації через шламовий матеріал і тим самим сприяє стабілізації гідрогеохімічного режиму прилеглої до шламонакопичувача території.

Аналіз балансових складових модельованої області за результатами прогнозних розрахунків також свідчить про поступове відновлення порушеного гідродинамічного режиму. Якщо на перший рік розрахунку відзначається суттєве зростання в живленні водоносного горизонту ємнісної складової, яка сформувалась під дією втрат зі шламонакопичувача і підпору в межах прилеглої території, то на наступних етапах розрахунків ємнісна складова значно знижується, як знижуються і обсяги височування (табл. 4.14... 4.15). Останнє пов'язане з загальним зниженням рівня підземних вод в межах підтоплених ділянок, які сформувались під впливом втрат із шламонакопичувача.

Таблиця 4.14 – Балансові складові модельованої області за умови реалізації водорегулювальних заходів на період 1 рік, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Взаємозв'язок з річками	0,000	-18,714
Витрати по контуру	96,800	0,000
Інфільтрація	58,070	0,000
Ємнісна складова	2,815	0,000
Височення	0,000	-177,554
Похибка		-38,580
Нев'язка (%)		-0,900

Таблиця 4.15 – Балансові складові модельованої області за умови реалізації водорегулювальних заходів на період 10 років, м³/добу

Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Взаємозв'язок з річками	0,000	-18,596
Витрати по контуру	96,800	0,000
Інфільтрація	58,065	0,000
Ємнісна складова	0,108	-0,001
Височення	0,000	-149,479
Похибка		-13,100
Нев'язка (%)		-4,056

Аналіз обсягів височування по верхньому контуру шламонакопичувача за результатами моделювання показує, що їх величина змінюється від 26,1 м³/добу відповідно на період 1 року з початку реалізації водорегулювальних заходів до 13,0 м³/добу і 8,1 м³/добу відповідно на 10-річний період та в режимі стаціонарного режиму фільтрації. Зважаючи на це, при проектуванні водорегулювальних заходів необхідно врахування розвантаження четвертинного водоносного горизонту в межах схилів ділянок балки в загальних обсягах проектного водовідведення.

Таким чином, реалізація водорегулювальних заходів, які забезпечують відведення поверхневого стоку за межі шламонакопичувача і виключення фільтрації з чаші ставка, буде сприяти формуванню близького до природного гідродинамічного режиму досліджуваної території та стабілізації гідрогеохімічного стану підземних вод.

4.5 Висновки

Обґрунтовані рекомендації, спрямовані на забезпечення гідрогеомеханічної стійкості східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» на ділянці сполучення з породним відвалом № 3.

Встановлено, що гідрогеомеханічна стійкість східного борту кар'єру не нижче нормативної забезпечується за умови реалізації дренажних заходів при розташуванні дренажно-утримуючих призм в межах горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ м і розвантаження північної частини східного борту в межах 100-метрової зони породного відвалу № 3 на ділянці його сполучення з кар'єром.

За результатами математичного моделювання встановлені загальні закономірності формування кар'єрних водопритоків та особливості їх розподілу на ділянці східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК», виконаний прогноз кар'єрних водопритоків в умовах проектного розвитку гірничих робіт.

Показано, що в умовах проектного положення контуру кар'єру Інгулець-

кого ГЗК приріст прогнозних водопритоків відбувається в межах всього східного борту, складаючи відповідно на ділянках їх концентрації 839,8 м³/добу (м.о. 30...46) і 603,09 м³/добу (м.о. 58...74) з формуванням зон осушення на ділянках припіднятого залягання покрівлі київських глин.

В цих умовах зниження кар'єрних водопритоків досягається при спорудженні на ділянці м.о. 22...74 нової протифільтраційної завіси з гідравлічною проникністю не вище 0,001 м/добу, шириною до 0,7 м із заглибленням в палеогенові глини та закладенням її верху не вище ординарної відмітки рівня води в р. Інгулець.

Підходи комплексного дослідження реалізовані при рекультивації шламонакопичувача ДП «Екоантилід» в балці Ясинова, смт. Карнаухівка Дніпропетровської області. З метою гідродинамічного обґрунтування доцільних водорегулювальних заходів на основі встановлених факторів та умов формування режиму підземних вод виконане моделювання геофільтраційних процесів в межах розташування шламонакопичувача.

За результатами прогнозних розрахунків в нестационарному режимі фільтрації встановлено, що виключення поверхневого стоку з гідрорежиму шламонакопичувача вже протягом першого року забезпечує зниження підпертих рівнів на величину від 0,5...2,5 м на прилеглій території до 7,0...10,0 м під накопичувачем і контуром греблі.

Показано, що відновлення гідродинамічного режиму ґрунтового водоносного горизонту до його природного стану за умови рекультивації шламонакопичувача та реалізації водорегулювальних заходів відбувається протягом 10 років.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей техногенного водообміну та залежності величин і розподілу кар'єрних водопритоків від геолого-структурних умов родовища обґрунтовані параметри геотехнічної стійкості природно-техногенних породних масивів та їх змін під впливом гідравлічної складової при відпрацюванні рудних покладів; це дозволило обґрунтувати заходи щодо гідрозахисту бортів кар'єру та визначити комплекс технічних рішень для забезпечення геотехнічної стійкості масивів порід в навантажених породними відвалами бортах кар'єру та в умовах входження робочого контуру кар'єру в зону зрушень підземних гірничих виробок.

Основні висновки та науково-практичні результати роботи полягають у наступному:

1. За результатами аналізу геолого-гідрогеологічних та гірничотехнічних умов родовища і особливостей гідродинамічного режиму порушеної гірничими роботами території розкрита роль техногенного водообміну у формуванні геотехнічної стійкості породних масивів та її змін під впливом відпрацювання рудних покладів.

2. Встановлена залежність розподілу кар'єрних водопритоків та їх величин від геолого-структурних умов родовища, які визначаються просторовим положенням водопроникних і водотривких шарів в межах порушених гірничими роботами бортів кар'єру і створюють передумови для формування ділянок локально підпірних підземних вод в бортах кар'єру.

3. За результатами інтерпретації даних польових геофізичних досліджень у складі ЕТ та АМТЗ підтверджено формування техногенного водоносного горизонту в основі породного відвалу № 3, вплив якого на геомеханічну стійкість борту кар'єру встановлено за результатами вирішення ретроспективних геофільтраційних і геомеханічних задач.

4. Встановлена динаміка кар'єрних водопритоків при входженні відкри-

тих гірничих робіт в зону зрушень підземних виробок, яка за даними прогнозного моделювання характеризується зростанням водопритоків на величину до 15,0...55,0% на час протягом кількох місяців і зумовлена ємнісними запасами, які спрацьовуються за цей час.

5. Вплив гідродинамічної складової на напружено-деформований стан породних масивів, встановлений за даними моделювання їх гідрогеомеханічного стану на ділянці сполучення бортів кар'єру з породними відвалами і в умовах розкриття робочим бортом кар'єру зони зрушень, характеризується зниженням запасу стійкості на 6,8...17,0%.

6. Гідрогеомеханічна стійкість навантажених відвальним масивом бортів кар'єру на рівні не нижче нормативної забезпечується за умови реалізації дренажних заходів при розташуванні дренажно-утримуючих призм м межах контурів горизонтів $\pm 0,0/-15,0$; $-15,0/-30,0$ та розвантаженні борту кар'єру в межах 100-метрової смуги ділянки породного відвалу.

7. За результатами комплексного дослідження геофільтраційних і геомеханічних процесів доведений визначальний вплив втрат мінералізованих вод із хвостосховищ на гідродинамічний режим прилеглих до техногенних об'єктів територій та спричинення зсувного деформування ґрунтових масивів внаслідок вилуговування карбонатних порід.

8. Результати досліджень впроваджені при виконанні проекту "Коригування робочого проекту «Рекультивация шламонакопичувача у балці Ясинова ДП «Екоантилід», виконаного ТОВ ПВП «Дніпроводпром»; впроваджені на ПРАТ «ІНГЗК» у вигляді рекомендацій щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру та забезпечення його гідрогеомеханічної стійкості на ділянці сполучення з відвалом № 3 та рекомендацій щодо створення системи комплексного гідрогеологічного, геодезичного та геофізичного моніторингу для розробки заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій в межах порушеної гірничими роботами території.

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арсентьев А.И. Устойчивость бортов и осушение карьеров / Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. – М.: Недра, 1982. – 165 с.
2. Астафьев Ю. П. Управление состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / Астафьев Ю. П., Попов Р. В., Николашин Ю. М. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 272 с.
3. Багрий И.Д. Влияние хвостохранилищ Центрального горно-обогатительного комбината на подземные и поверхностные воды / Багрий И.Д., Курочкина Н.Г., Белокопытова Н.А., Сынах В.Ю., Лейко Г.Н., Чередниченко В.Г. // Геологический журнал. – 2004. – №1. – С. 54 – 61.
4. Багрий И.Д. Геоекологічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі / І.Д. Багрий, П.В. Блінов, Н.А. Белокопытова та ін. – К.: Фенікс, 2002. – 192 с.
5. Барон Л.И. О повторной разработке рудных месторождений / Научные сообщения, вып. VII. – М.: Гостехиздат, 1961. – 30 с.
6. Білокопитова Н.А. Інфільтраційне живлення ґрунтових вод Причорноморського артезіанського басейну / Білокопитова Н.А., Рубан С.А., Подвігіна О.О., Буцька Ю.М. – ДВ УкрДГРІ. Дніпропетровськ, 2010.
7. Білокопитова Н.А., Сынах В.Ю., Токар М.В., Подвігіна О.О. Особливості моделювання гідрогеологічних умов Донбасу [Текст] // Збірник наукових праць УкрДГРІ. Київ, 2003. №2. С. 59–62.
8. Ботанцев И.В. Технологические аспекты повторной разработки крутопадающих месторождений открытым способом // Сб.научн. трудов ИППЭ «Экология и природопользование». – Днепропетровск, 2008. – Выпуск 11. – С.26-30.
9. Веригин Н.Н. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян и др. – М.: Недра, 1977. – 271 с.

10. Винивитин Д. В., Назаренко М. В., Хоменко С. А. Геомеханическое моделирование карьеров и отвалов в K-MINE—как составной элемент минимизации площадей нарушенных земель при ведении горных работ // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2018. – №. 54. – С. 39-52.
11. Власов С. Ф., Максимова-Гуляева Н. О. Підвищення стійкості зсувонебезпечних схилів за допомогою струминного закріплення ґрунтів. – Д., Національний гірничий університет, 2010. – 143 с.
12. Гавич, И.К. Гидрогеодинамика: учебник для вузов / И.К Гавич // Недра, Москва, 1988. 349 с.
13. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
14. Гальперин А. М. Инженерно-геологическое обеспечение промышленной и экологической безопасности открытых горных работ. // ГИАБ, 2006, выпуск 8.
15. Гальперин А. М., Зайцев В. С., Кириченко Ю. В. Инженерно-геологическое и геотехническое обеспечение возведения, консервации и рекультивации гидроотвалов и хвостохранилищ (анализ 30-летнего опыта). // Геоэкология, 2000, № 4.
16. Гальперин А. М., Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов. Том I. Насыпные и намывные массивы. – М.: Изд. МГГУ, 2006.
17. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. - М.: Стройиздат, 1979.
18. Гольдберг В.М. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозом для контроля за охраной подземных вод: Ротапринт/ВСЕГИНГЕО. М.: 1980. 36 с.
19. Григорьев, Ю.И., Миронов, М.Д., & Дрок, А. В. (2016). Технические решения по отработке Ингулецкого месторождения карьером ЧАО «Ин-ГОК» в границах лицензионной площади. Геотехнічна механіка, (129). 115-121.
20. Гриневский С.О., Новоселова М.В. Закономерности формирования

инфильтрационного питания подземных вод / Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 6 – С. 1-12.

21. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 106 с.

22. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти будівель та споруд. Основні положення проектування: Зміна 1 – [Чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 55 с. – (Державні будівельні норми України).

23. Державні будівельні норми України. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. Видання офіційне. – К.: Мінрегіонбуд України. 2010. – 50 с.

24. Дриженко А.Ю., Шустов, А.А., Адамчук, А.А., & Никифорова, Н.А. (2017). Совершенствование технологии открытой разработки железорудных карьеров Украины при их углубке. Зб. наук праць НГУ, 52. 79-86.

25. Дублянский В. Н., Ломаев А. А. Карстовые пещеры Украины // Киев: Наукова думка.– 1980.– 180 с.

26. Евграшкина Г. П. Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий / Евграшкина Г. П. – Д.: Монолит, 2003. – 200 с.

27. Евграшкина Г.П. Пруд-накопитель сбросных шахтных вод "Свидовок" в Западном Донбассе и его экологические проблемы. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2003. №5. С. 48-53.

28. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП / М-во охорони навколишнього природного середовища України, Держ. геол. служба, Держ. інформ. геол. фонд України . – Київ : ДГІФ Геоінформ України, 2014. – Вип. 11. – 101 с.: 29 іл.

29. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение. 1992. 672 с.

30. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. М.: Недра, 1981. – С. 159-277.
31. Калініченко О., Лакомова О., Мечников Ю. Аналіз антропогенного впливу на підземну гідросферу на прикладі південно-західної частини Криворізького залізорудного басейну. – 2016. Конструктивна географія і геоecологія Наукові записки. №2. 2016 с.184-190.
32. Калініченко О. О., Шипунова В. О. Активізація карстових процесів у Криворізькому басейні як результат підсилення техногенного навантаження на ландшафт. Геолого-мінералогічний вісник.– 2003.– №2, с. 33 – 37.
33. Ковров А.С., Бабий Е.В, Ракишев Б.Р., Куттыбаев А.Е. Влияние обводненности насыпного массива пород на геомеханическую устойчивость участка циклично-поточной технологии. Журнал «Mining of Mineral Deposits», 2016. Vol.10. Issue 2, pp. 55–63.
34. Ковров А. С. Влияние сложной геологической структуры и обводненности массива пород на устойчивость откосов карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №. 10. – С. 45-50.
35. Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання: Підручник. К.: ВПЦ “Київський університет”, 2003. 113 с.
36. Криворучкіна О. В. Еколого-гідрогеологічний моніторинг територій гірничорудних підприємств Криворізького басейну, Геолого-мінералогічний вісник.– 2002.– №1, с. 72 – 80.
37. Кроїк Г. А., Гаспарян М.К. Закономірності та механізм вивітрювання відвальних шахтних порід як основа оцінки екологічної небезпеки територій // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Івано-Франківськ, 2012. № 2 (6). С. 64-73
38. Кроїк Г.А., Мельник О.В. Закономірності розподілу техногенних та токсичних елементів у відходах добування та переробки вугілля Західного Донбасу // Вісник ДНУ. Серія «Геологія. Географія». Д.: Вид-во ДНУ. 2012. Вип. 14. Т. 20. № 3/2. С. 77-82.

39. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. М., «Недра» 1972, 328с.
40. Лившиц В.М., Белокопытова Н.А. и др. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтрации подземных вод в слоистых толщах. – Днепропетровск: ДО ИМР, 1987.
41. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
42. Лукнер Л., Шестаков В. М. Моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1976. 407с
43. Лущик А.В. Інженерно-геологічна обстановка в районі Криворізького залізорудного басейну України / Лущик А.В., Давиденко І.П., Швирло М.І., Яковлев Є.О. // Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України за 1994 – 1995 роки. – 1997. – Вип. 14. – С. 36 – 41.
44. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів укосів уступів і відвалів залізорудних та флюсових кар'єрів (під ред. проф. А.Г. Шапаря), Мінполітики та ІППЕ НАН України: Дніпропетровськ, 2009, 201 с.
45. Мироненко В.А. Гидрогеологические исследования в горном деле / В.А. Мироненко, Ю.А. Норватов, Л.И. Сердюков и др. // М.: Недра, 1976. 352 с.
46. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.
47. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. М.: Недра, 1989. 287 с.
48. Мироненко В.А. Проблемы гидрогеоэкологии в 3-х т. / Мироненко В. А., Румынин В. Г. Т. 2: Опытнo-миграционные исследования. – [2-е изд., стер.]. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 394 с.
49. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. –М.: Изд-во МГУ, 1998. 611 с.
50. Несмашний Є.О., Болотніков А.В., Ткаченко Г.І. Расчет устойчиво-

сти участка восточного борта карьера ПАО «ИнГок» в песчано-глинистой толще. Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ. - 2016.- № 41.- С. 64-69.

51. Несмашний Є. О. Прогноз стійкості та оптимізація параметрів відкритих гірничих виробок з урахуванням їх деформованого стану : дис. – спец. 05.15. 11 «Фізичні процеси гірничого виробництва» / Несмашний Євгеній Олександрович, Криворізький технічний університет. Кривий Ріг, 1999, 305 с.

52. Несмашний Е. А., Ткаченко Г. И., Болотников А. В. Геомеханическое обоснование геометрических параметров бортов карьера ЧАО «ИНГОК» на предельном контуре. Вісник Криворізького національного університету, вип. 46, 2018. 20-25 с.

53. Несмашний Є.О., Ткаченко Г.І., Болотніков А.В., Оцінка стійкості східного борта Глеєватського кар'єра №1 в зоні його подроблення підземними гірничими роботами. Вісник Криворізького національного університету, Вип. 30, 2012, с. 34-38.

54. Ніколашин Ю.М. Маркшейдерський контроль деформаційних процесів для прогнозу стійкості бортів глибоких кар'єрів. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Спеціальність 05.15.01–“Маркшейдерія”. Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2001. – 20 с.

55. Никитин В. В. Инженерно-геологическое обеспечение реконструкции хвостового хозяйства на Северном горно-обогатительном комбинате / Никитин В. В., Месхи Н.Ж. // Геология и разведка. – 1991. – №8. – С.115 – 117.

56. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра, 1988. – 261 с. : ил.

57. Пасічний В.Г. Геотехногенні основи управління гідросферою при підземному видобутку вугілля: автореф. дис... д-ра техн. наук: спец. 21.00.08, Національна гірнича академія України. Дніпропетровськ, 1997. 34 с.

58. Перегудов Ю. В. Анализ эффективности ведения открытых горных работ на крутопадающих месторождениях в зонах возможного обрушения // Гірничий вісник. – 2013. – №. 96. – С. 54-57.
59. Перегудов Ю.В., Перегудов В.В., Обоснование технологии ведения открытых горных работ при вовлечении в отработку подработанных бортов карьера. Геотехнічна механіка. 2016. №129 , с.92-97.
60. Перкова Т.И. Оценка изменений фильтрационных свойств трещиноватых пород в условиях техногенного карста / Перкова Т.И., Рудаков Д.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014, №3. С. 304 – 308.
61. Питьева К.Е. Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды. - М.: Наука, 1984.
62. Плотников О.В., Криворучкіна О.В. Екологічні, геологічні та економічні фактори розвитку сировинної бази Криворізького залізорудного району, Геолого-мінералогічний вісник. Кривий ріг. – 2003.– № 2. С. 5 – 20.
63. Полищук А.К. Открытая повторная разработка железорудных месторождений / А.К. Полищук. – К.:Вища школа, 1978. – 192 с.
64. Попов И.И. Борьба с оползнями на карьерах / И.И. Попов, Р.П. Окатов – М.: Недра, 1980. – 239 с.
65. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / Комплекс. н-и и конструктор.-технолог. – т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М. : Стройиздат, 1991. – 272 с. : ил. – (Справ. пособие к СНиП).
66. Проектирование водозаборов подземных вод. Под ред. Ф.М. Бочера. – М.: Стройиздат, 1976. – 292 с.
67. Пургина Д.В. Изменение гидродинамических условий при освоении угольных месторождений на примере Никитинского месторождения (Кузбасс): 289 дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.07 / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Томск, 2018. 177 с.

68. Регіональні інженерно-геологічні умови території України. Інформаційний бюлетень. – Державний геологічний інформаційний фонд «Геоінформ», випуск 1, 2-е видання. – 1997. – 92 с.
69. Романенко А.О. Комплексна оцінка та обґрунтування параметрів стану масиву гірських порід при розробці глибоких залізородних кар'єрів: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.15.09 "Геотехнічна і гірнична механіка" / Романенко Андрій Олександрович; НАН України, Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова. - Дніпро, 2021. - 20 с.
70. Ромм, Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород [Текст] /Е. С. Ромм. М. : Недра, 1966. 282 с.
71. Рубан С.А., Шинкаревський М.А. Гідрогеологічні оцінки і прогнози режиму підземних вод України. К.: УкрДГРІ, 2005. 572 с.
72. Рудаков Д. В. Идентификация трехмерной геофильтрационной модели техногенно нагруженной территории центральной части Криворожского бассейна / Рудаков Д. В., Тимошук В. И., Перкова Т. И., Шерстюк Е. А. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Діпропетровськ, 2011, №5 – С. 21 – 25.
73. Рудаков, Д.В. Моделирование в гидрогеологии [Текст]: навч. посібник / Д.В. Рудаков. Д.: Національний гірничий університет, 2011. 88 с.
74. Рудаков Д. В. Прогнозування фізико-хімічних змін водотривких порід під впливом накопичувачів рудничних вод (на прикладі Кривбасу) / Рудаков Д. В., Воробйова Т. І. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – №5. – С. 63 - 66.
75. Рудько Г.І. Ресурси геологічного середовища і екологічна безпека техноприродних геосистем: Монографія. – К.: ЗАТ «Нічлава», 2006. – 480 с.
76. Рудько Г.І. Техногенно-екологічна безпека геологічного середовища: Монографія. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2001. – 359 с.
77. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Геофильтрационная модель массива горных пород в области влияния отрабатываемых и ликвидируемых рудников горноскладчатого Урала // Литосфера. 2013. №3. С. 130-136.

78. Садовенко І.А., Рудаков Д.В. Динаміка фільтраційного масо-переносу при веденні і свертыванні горних робіт. Днепропетровск. Издательство НГУ, 2010. 230 с.
79. Сизов, А. П. Мониторинг и охрана городских земель / А. П. Сизов. - Москва : МИИГАиК, 2009. - 264 с.
80. Ситников А. Б., Чабан В. В. Обоснование достоверности оценки испарения рапы Восточного бассейна Сакского озера // Геологічний журнал. 2017. № 3. С. 55-66. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geojur_2017_3_8
81. Собко Б.Е. Геомеханическое обоснование параметров рабочей зоны карьера в условиях повышенной обводненности / Собко Б.Е., Ковров А.С., Череп А.Ю. // 36. наук. праць НГУ. – 2017. №3. – С. 64–76.
82. Стан підземних вод України, щорічник Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2018. 121 с.
83. Тимощук В. І., Шерстюк Е. А., Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород / Науковий вісник Національного гірничого університету. – Діпропетровськ, 2012, №4 – с. 30 – 36.
84. Тимощук В. І. Вплив об'єктів гірничого виробництва на гідрогеомеханічний стан прилеглих територій в умовах Криворізького басейну / Тимощук В. І., Демченко Ю. І., Загриценко А. М., Шерстюк Є. А. // Сб. научн. тр. II Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2008. – С. 234 – 237
85. Ткаченко Г.І. Розроблення методу розрахунку стійкості зовнішніх відвалів з урахуванням неоднорідності розкривних порід і слабкої основи: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.01 / Г.І. Ткаченко ; Криворіз. техн. ун-т. — Кривий Ріг, 2008. — 20 с. — укр.
86. Управління зсувонебезпечністю природних схилів та техногенних укосів з неоднорідною структурою в мінливих геокліматичних умовах [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.15.09, 21.06.01 / Ковров Олександр Станіс-

лавович ; Нац. техн. ун-т «Дніпров. Політехніка». - Дніпро, 2019. - 36 с. : табл., рис.

87. Усманов С. Ф. Современное программное обеспечение для решения задач геомеханики. Вестник КРСУ.– 2008. Том 8. – №1, с. 81 – 84.

88. Урустембеков Б. А. Методы оценки устойчивости склонов. Всероссийский журнал научных публикаций, апрель 2011, с. 10 – 12.

89. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987.

90. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г. Л. Фисенко. – М. : Недра, 1965. – 375 с.

91. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности [Текст] : дис. ... доктора геолого-минералогических наук : 25.00.08 / Фоменко Игорь Константинович – Москва, 2014. – 318 с.

92. Хільчевський В. К. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу : Монографія / В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунар'юв. – К.: Ніка-центр, 2012. – 180 с.

93. Хоменко О.Є. Удосконалення технології видобування залізних руд із охоронних ціликів: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 100 с. – Російською мовою.

94. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – М. : Высшая школа, 1983. – 287 с.

95. Черный Г.И. Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. М.: Недра, 1980. – С. 195-207.

96. Шапарь А.Г., Ботанцев И.В., Романенко В.Н. Повторная разработка природно-богатых потерянных и разубоженных руд в Кривбассе открытым способом // Горный информационно-аналитический бюллетень.- МГТУ – М. – 2008. - №2. – С.239-244.

97. Шаповал В. Г. Вероятностный метод определения коэффициента устойчивости откосов и склонов / В. Г. Шаповал, Е. С. Причина, И. Ю. Булич //

Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2014. – Т. 10, № 3. – С. 195–201.

98. Шашенко А. Н. Геомеханика / А. Н. Шашенко, В. П. Пустовойтенко, Е. А. Сдвижкова. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев : Новий друк, 2016. – 528 с.

99. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород: Учебник для вузов. – К.: Новий друк, 2003. – 400 с.

100. Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапєєв С.М. Деформованість та міцність масивів гірських порід: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 224 с. – Рос. мовою.

101. Шерстюк Е.А. Автоматизированная система прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций на оползневых участках / И.А. Садовенко, Л.Я. Эйдельштейн, В.И. Тимощук, Е.А. Шерстюк // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 трав. 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – С. 105-112.

102. Шерстюк Є.А. Визначення ролі техногенних складових в порушенні геомеханічної стійкості територій в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва / В.І. Тимощук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сб. научн. тр. III Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2009. – С. 437-440.

103. Шерстюк Є.А. Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних родовищ / Шустов О.О., Петльований М.В., Зубко С.А., Шерстюк Є.А. // Збірник наукових праць Національного гірничого університету, 2019, (58), 154-165. doi:10.33271/crpnmu/58.154

104. Шерстюк Є.А. Гідродинамічне обґрунтування водорегулювальних заходів на ділянці шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області / В.І. Тимощук, В.В. Тішков, Є.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2013. – № 3. – С. 5-10.

105. Шерстюк Є.А. Дослідження формування кар'єрних водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимощук, Є.А.

Шерстюк, О.А. Савюк // Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць. – Х.: Стиль-Издат, 2018. – С. 141-146.

106. Шерстюк Є.А. Закономірності формування кар'єрних водоприпливів з алювіального водоносного горизонту на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимощук, О.А. Савюк, Є.А. Шерстюк // Збірник наукових праць НГУ. – 2018. – № 54. – С. 128-140.

107. Шерстюк Є.А. Комплексна оцінка гідрогеомеханічного стану східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в умовах перспективного розвитку гірничих робіт / В.І. Тимощук, Є.А. Шерстюк, А.Л. Лозовий // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. – № 62. – С. 77-87. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.077>

108. Шерстюк Є.А. Моделювання геофільтрації в основі хвостосховищ та відвалів гірських порід / В.І. Тимощук, Є.А. Шерстюк, Т.В. Морозова // «Гідрогеологія: наука, освіта, практика». Матеріали III Наукової конференції з міжнародною участю. м. Харків, 2-4 листопада 2016 р. – С. 175-180.

109. Шерстюк Е.А. Параметризация численных моделей неустойчивых грунтовых массивов на основе изучения из физико-механических характеристик / Е.А. Шерстюк, Н.И. Деревягина // Сб. научн. тр. Международного форума-конкурса молодых ученых «Проблемы недропользования». – Санкт-Петербург, 2010. – С. 179-181.

110. Шерстюк Є.А. Формування гідродинамічного режиму в зоні впливу відвалів гірських порід та хвостосховищ / В.І. Тимощук, Ю.І. Демченко, Є.А. Шерстюк // Зб. наук. праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки». – Ялта, 24-28 вересня 2012 р. – С. 329-334.

111. Шматков Г.Г., Оксамытный А.Ф., Николаева И.А. Экологические проблемы обеспечения безопасной жизнедеятельности техногенно нагруженных регионов (на примере Днепропетровской области) // Екологія і природокористування. 2009. Вип. 12. С. 42–47.

112. Щелканов В.А., Сторчак С.А. Комбинированная разработка месторождений, Кривой Рог: КТУ, 1996. 293с.

113. Belikov B. P. Elastic properties of rocks, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 1962, Volume 6, Issue 1, pp 75-85.
114. Diederichs, M. S., Lato, M., Hammah, R., & Quinn, P. (2007). Shear Strength Reduction (SSR) approach for slope stability analyses. In *Rock Mechanics Meeting Society's Challenges, and Demands. Proceedings of the 1st Canada-US rock mechanics symposium*. Vancouver, Canada, 27–31 May 2007, Taylor & Francis Group, London, UK. DOI: 10.1201/NOE0415444019.
115. Griffiths, D.V., and P.A. Lane (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, vol. 49, no. 3, pp. 387–403.
116. Kinzelbach W. *Groundwater modeling*. – Amsterdam: Elsevier. – 1986. – 312 p.
117. McDonald. *ModFlow. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model*. Open-file report / McDonald, Harbaugh M. C. Harbaugh A. W. // U. S. Geological Survey – 1988. – P. 83 – 875.
118. Owen, S.J.; Jones, N.L., and Holland, J.P. (1996). "A comprehensive modeling environment for the simulation of groundwater flow and transport". *Engineering with Computers*. pp.235–242.
119. Phase2. 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations. *Phase2 Model Program Reference Manual*. 1998 – 2001. Rocscience Inc.
120. Schlumberger. (2009). *Visual MODFLOW 2009.1 User's Manual*. 1st ed. Waterloo, Ontario, Canada: Schlumberger Water Services, p.666.
121. Sherstiuk E. Parameters of Hydrogeomechanical Sustainability of Territories in the Area of Influence of Mining Facilities / E. Sherstiuk // *Widening Our Horizons. The 11th International Forum for Students and Young Researchers*. April 14 – 15, 2016, p. 104.
122. Sherstiuk Y. Analysis of patterns of the open-pit mine water influx formation in the conditions of the Inhulets iron ore deposit using a three-dimensional geofiltration model / V. Tymoshchuk, Y. Sherstiuk, T. Morozova // *E3S Web of Conferences. Ukrainian School of Mining Engineering*. – 2018. – Vol. 60.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000030>.

123. Sherstuk E. The role of natural and technogenic components in failure of geomechanical stability of the territories which are in an influence zone of mining objects / V. Timoshuk, J. Demchenko, E. Sherstuk // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyi* (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, p. 189-192.

124. Sherstuk Y. Three-dimensional model creation of ground water seepage in mining zones (Kryvyi Rih iron ore basin) / Y. Sherstuk, T. Perkova & U. Demchenko // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyi* (eds) © 2011 Taylor & Francis Group, London, p. 181-185.

125. Sherstuk Ye. Patterns of landslide processes development in conditions of man-made water exchange of mining complex / Ye. Sherstuk, U. Demchenko & Yu. Cherednichenko // *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining - Bondarenko, Kovalevs'ka & Ganushevych* (eds). 2014. Taylor & Francis Group, London, 41-45 pp.

126. Spizzichino K. *Numerical Groundwater Modeling* / Spizzichino K., Walton W. C. – CRC Press., 1989. – 272 p.

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті у періодичних фахових виданнях України:

1. Шерстюк Е.А. Идентификация трехмерной геофильтрационной модели техногенно нагруженной территории центральной части Криворожского бассейна / Д.В. Рудаков, В.И. Тимощук, Т.И. Перкова, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2011, № 5 – С. 21-25.
2. Шерстюк Е.А. Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород / В.И. Тимощук, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2012, № 4 – С. 30-36. (**Scopus**)
3. Шерстюк Є.А. Гідродинамічне обґрунтування водорегулювальних заходів на ділянці шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області / В.І. Тимощук, В.В. Тішков, Є.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2013. – № 3. – С. 5-10. (**Scopus**)
4. Шерстюк Є.А. Закономірності формування кар’єрних водоприпливів з алювіального водоносного горизонту на ділянці північно-східного борту кар’єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимощук, О.А. Савюк, Є.А. Шерстюк // Збірник наукових праць НГУ. – 2018. – № 54. – С. 128-140.
5. Шерстюк Є.А. Геомеханічні проблеми стійкості природно-техногенних масивів рудних родовищ / Шустов О.О., Петльований М.В., Зубко С.А., Шерстюк Є.А. // Збірник наукових праць Національного гірничого університету, 2019, (58), 154-165. doi:10.33271/crpnmu/58.154
6. Шерстюк Є.А. Комплексна оцінка гідрогеомеханічного стану східного борту кар’єру ПРАТ «ІНГЗК» в умовах перспективного розвитку гірничих робіт / В.І. Тимощук, Є.А. Шерстюк, А.Л. Лозовий // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка»,

2020. – № 62. – С. 77-87. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.077>

Статті у закордонних виданнях:

7. Sherstuk E. The role of natural and technogenic components in failure of geomechanical stability of the territories which are in an influence zone of mining objects / V. Timoshuk, J. Demchenko, E. Sherstuk // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyu* (eds) © 2010 Taylor & Francis Group, London, p. 189-192. (**Scopus**)

8. Sherstuk Y. Three-dimensional model creation of ground water seepage in mining zones (Kryvyi Rih iron ore basin) / Y. Sherstuk, T. Perkova & U. Demchenko // *New Techniques and Technologies in Mining – Bondarenko, Kovalevs'ka & Dychkovs'kyu* (eds) © 2011 Taylor & Francis Group, London, p. 181-185.

9. Sherstuk Ye. Patterns of landslide processes development in conditions of man-made water exchange of mining complex / Ye. Sherstuk, U. Demchenko & Yu. Cherednichenko // *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining - Bondarenko, Kovalevs'ka & Ganushevych* (eds). 2014. Taylor & Francis Group, London, 41-45 pp.

Статті та тези доповідей:

10. Шерстюк Є.А. Вплив об'єктів гірничого виробництва на гідрогеомеханічний стан прилеглих територій в умовах Криворізького басейну / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сб. научн. тр. II Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2008. – С. 234-237.

11. Шерстюк Е.А. Параметризация численных моделей неустойчивых грунтовых массивов на основе изучения из физико-механических характеристик / Е.А. Шерстюк, Н.И. Деревягина // Сб. научн. тр. Международного форума-конкурса молодых ученых «Проблемы недропользования». – Санкт-Петербург, 2010. – С. 179-181.

12. Шерстюк Є.А. Визначення ролі техногенних складових в порушенні геомеханічної стійкості територій в зоні впливу об'єктів гірничого виробництва / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, А.М. Загриценко, Є.А. Шерстюк // Сб. научн.

тр. III Международной научно-практической конференции «Школа подземной разработки». – Днепропетровск, 2009. – С. 437-440.

13. Шерстюк Е.А. Разработка и идентификация пространственной геофильтрационной модели техногенно-нагруженной территории центральной части Кривбасса / Перкова Т.И., Шерстюк Е.А. // География, геоэкология, геология: опыт научных исследований: Материалы VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под. ред. проф. Л.И. Зеленской. – Днепропетровск: ІМА-прес, 2011. – Вып. 8. – С. 144-145.

14. Шерстюк Є.А. Формування гідродинамічного режиму в зоні впливу відвалів гірських порід та хвостосховищ / В.І. Тимошук, Ю.І. Демченко, Є.А. Шерстюк // Зб. наук. праць VI Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки». – Ялта, 24-28 вересня 2012 р. – С. 329-334.

15. Шерстюк Е.А. Автоматизированная система прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций на оползневых участках / И.А. Садовенко, Л.Я. Эйдельштейн, В.И. Тимошук, Е.А. Шерстюк // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф., 22-24 трав. 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – С. 105-112.

16. Sherstiuk E. Parameters of Hydrogeomechanical Sustainability of Territories in the Area of Influence of Mining Facilities / E. Sherstiuk // Widening Our Horizons. The 11th International Forum for Students and Young Researchers. April 14 – 15, 2016, p. 104.

17. Шерстюк Є.А. Моделювання геофільтрації в основі хвостосховищ та відвалів гірських порід / В.І. Тимошук, Є.А. Шерстюк, Т.В. Морозова // «Гідрогеологія: наука, освіта, практика». Матеріали III Наукової конференції з міжнародною участю. м. Харків, 2-4 листопада 2016 р. – С. 175-180.

18. Шерстюк Є.А. Дослідження формування кар'єрних водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» / В.І. Тимошук, Є.А. Шерстюк, О.А. Савюк // Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць. – Х.: Стиль-Издат, 2018. – С. 141-146.

19. Sherstiuk Y. Analysis of patterns of the open-pit mine water influx formation in the conditions of the Inhulets iron ore deposit using a three-dimensional geofiltration model / V. Tymoshchuk, Y. Sherstiuk, T. Morozova // E3S Web of Conferences. Ukrainian School of Mining Engineering. – 2018. – Vol. 60. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000030>. (**Scopus**)

Довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи



ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГІРНИЧО-
ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ»
(ПРАТ «ІНГЗК»)

вул. Рудна, б. 47, м. Кривий Ріг,
Дніпропетровська область, 50102, Україна,
Тел/факс: +380 (56) 407-63-11
email: ingok@metinvestholding.com

IBAN: UA393348510000026009962482063
м. Київ
МФО: 334851
ЄДРПОУ: 00190905

07.04.2021 № 13781/76

На № _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора з технології та
якості ПРАТ «ІНГЗК»

Е.О. Беспояско

07 2021 р.



ДОВІДКА

про впровадження результатів досліджень, розробок і рекомендацій
дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних
наук Шерстюк Євгенії Анатоліївни «Геотехнічна стійкість породних масивів
в зоні впливу техногенного водообміну гірничорудного комплексу»

Дослідження Шерстюк Є.А. були частиною робіт з обґрунтування параметрів гідродинамічного режиму території та стійкості північно-східної і північно-західної ділянок борту кар'єру у зв'язку з розробкою технічних рішень щодо гідрозахисту бортів залізорудного кар'єру ПРАТ "ІНГЗК".

Робота виконана в рамках науково-дослідних робіт НТУ "Дніпровська політехніка" "Дослідження закономірностей формування кар'єрних водопритоків та прогнозна оцінка їх величин у зв'язку з розробкою технічних рішень щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єра ПРАТ "ІНГЗК" (м.о. 56...98)" (договір № 040836-17, 2017 р.) та «Обґрунтування системи моніторингу гідрогеомеханічного стану порушеної гірничими роботами території ПРАТ «ІНГЗК» на основі аналізу сучасних гідродинамічних, геомеханічних і геофізичних полів для розробки заходів щодо попередження надзвичайних ситуацій при входженні північного борту кар'єру в зону зрушень підземних гірничих виробок шахти «Центральна» (договір № 040839-19, 2019 р.).

За результатами виконаних досліджень вирішені наступні задачі:

1. Розроблені та параметризовані чисельні геофільтраційні і геомеханічні моделі з урахуванням особливостей техногенного водообміну.
2. Встановлені закономірності розвитку деформаційних процесів в природно-техногенних породних масивах під впливом порушеного водообміну.
3. Обґрунтовано технологічні параметри та надано рекомендації щодо управління гідро-геомеханічним станом масивів в зоні кар'єру.

Результати досліджень складають основу для обґрунтування технічних рішень щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» та використані при розробці проекту «Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгулецького родовища з розширенням кар'єру ПРАТ «ІНГЗК» в межах ліцензійної площі за адресою: Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, вул. Рудна, 47, проммайданчик ПРАТ «ІНГЗК».

Головний геолог
ПРАТ «ІНГЗК»

О.А. Савюк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ТОВ ПВП «Дніпроводпром»

Ракуляк В.В.

2018 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук асистента кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Шерстюк Євгенії Анатоліївни

Результати дисертаційної роботи Шерстюк Є.А., представлені у вигляді звіту про науково-дослідну роботу "Гідродинамічне обґрунтування водорегулювальних заходів на ділянці шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області" (договір № 040823 від 25 листопада 2009 р.), впроваджені при виконанні проекту "Коригування робочого проекту «Рекультивация шламонакопичувача у балці Ясинова ДП «Екоантілід», виконаного ТОВ ПВП «Дніпроводпром» на замовлення управління екології та природних ресурсів Дніпродзержинської міської ради згідно договору № 1665.

Вид впроваджених результатів: рекомендації щодо реалізації комплексу водорегулювальних заходів, які забезпечують відведення поверхневого стоку за межі шламонакопичувача і виключення фільтрації з його чаші.

Характеристика масштабу впровадження: одиничне.

Форма впровадження: рекомендації.

Новизна результатів науково-дослідної роботи: принципово нові.

Соціальний та науково-технічний ефект. За результатами виконаних досліджень обґрунтована доцільність реалізації комплексу водорегулювальних заходів на ділянці рекультиватії шламонакопичувача в балці Ясинова Дніпропетровської області та визначені їх гідродинамічні параметри.

Дослідженнями встановлено, що в межах розрахункового періоду від 1 до 10 років з моменту реалізації водорегулювальних заходів буде формуватись близький до природного гідродинамічний режим досліджуваної території і, як наслідок, відбуватись загальна стабілізація гідрогеохімічного режиму підземних вод.

Від виконавця

Від підприємства

Асистент каф. гідрогеології
та інженерної геології
НТУ «Дніпровська політехніка»
_____ Є.А. Шерстюк

Головний спеціаліст

_____ І.М. Анохіна