

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Геологорозвідувальний
(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології
(повна назва)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Євтушик Вікторії Андріївни
(ПІБ)

академічної групи 103М-18-2
(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю
(код і назва спеціальності)

за освітньою програмою "Гідрогеологія"
(офіційна назва)

на тему: Особливості техногенезу гідродинамічних умов Криворізького басейну та обґрунтування гідрозахисту східного борту кар'єру Інгулецького ГЗК

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Тимощук В.І.			
розділів:				
Загальний	Тимощук В.І.			
Спеціальний	Тимощук В.І.			
Рецензент	Довбніч М.М.			
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

" " " "

2019 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Євтушик Вікторії Андріївні академічної групи 103М-18-2

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 103М-18-2

за освітньою програмою "Гідрогеологія"

на тему: Особливості техногенезу гідродинамічних умов Криворізького басейну та обґрунтування гідрозахисту східного борту кар'єру Інгупецького ГЗК, затверджену наказом ректора НТУ "Дніпровська політехніка" від 21.11.19 № 2147-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Аналіз факторів формування гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК".	15.10.19-30.10.19
Спеціальний	Дослідження загальних закономірностей формування кар'єрних водопритоків та особливостей їх розподілу на ділянці північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК". Виконання прогнозу кар'єрних водопритоків в умовах проектного розвитку гірничих робіт	01.11.19-30.11.19
	Обґрунтування заходів щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру та забезпечення його гідрогеомеханічної стійкості	01.12.19-11.12.19

Завдання видано

(підпис керівника)

Тимошук В.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

12.10.2019

Дата подання до екзаменаційної комісії

11.12.2019

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Євтушик В.А.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 103 с., 38 рис., 17 табл., 37 джерел.

Мета роботи – встановлення закономірностей формування кар’єрних водопритоків та особливостей їх розподілу в межах північно-східного борту кар’єру ПРАТ "ІНГЗК" для обґрунтування технічних рішень щодо його гідрозахисту.

Об’єкт дослідження – геофільтраційні процеси в межах шаруватого порідного масиву в умовах існуючого взаємозв’язку між елементами системи "північно-східний борт кар’єру ПРАТ "ІНГЗК" – порідний відвал № 3 – заплава річки Інгулець".

В роботі на основі аналізу даних щодо геолого-гідрологічних та гірничо-геологічних умов досліджуваної території встановлені основні фактори, що визначають формування гідродинамічного режиму підземних вод на ділянці північно-східного борту кар’єру ПРАТ "ІНГЗК".

Обґрунтовані загальна гідродинамічна схема досліджуваної території та структура чисельної геофільтраційної моделі, визначені геометричні розміри моделі, її початкові й граничні умови та рівень деталізації. За результатами рішення зворотних задач виконана ідентифікація чисельної геофільтраційної моделі.

За даними математичного моделювання встановлені загальні закономірності формування кар’єрних водопритоків та особливості їх розподілу на ділянці північно-східного борту кар’єру ПРАТ "ІНГЗК", виконаний прогноз кар’єрних водопритоків в умовах проектного розвитку гірничих робіт.

За результатами виконання роботи обґрунтовані заходи щодо гідрозахисту північно-східного борту кар’єру та забезпечення його гідрогеономеханічної стійкості на ділянці зчленування з відвалом № 3.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАЛІЗОРУДНЕ РОДОВИЩЕ, КАР’ЄР, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЯ, ПРОГНОЗ ВОДОПРИТОКІВ

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ	8
2 ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РОДОВИЩА	
2.1 Геологічні будова і тектоніка	10
2.2 Гідрогеологічні умови	20
3 ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ	25
3.1 Гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови північно-східного борту кар'єру	25
3.2 Аналіз умов формування кар'єрних водопритоків	28
4 МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНЦІ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ	36
4.1 Математичне забезпечення та структура чисельної геофільтраційної моделі	36
4.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання	42
4.2.1 Граничні умови і розрахункові параметри моделі	43
4.2.2 Ідентифікація чисельної геофільтраційної моделі	54
4.3 Аналіз закономірностей формування водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру	58
5 ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ВЕЛИЧИН КАР'ЄРНИХ ВОДОПРИТОКІВ НА ДІЛЯНЦІ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ	63
5.1 Обґрунтування методики прогнозу, граничних умов та розрахункових параметрів геофільтраційної моделі	63
5.2 Аналіз змін гідродинамічного режиму ділянки північно-східного борту кар'єру при спорудженні нового русла р. Інгулець	69
5.3 Прогнозна оцінка величин кар'єрних водопритоків в умовах проектного розвитку гірничих робіт	74
5.4 Аналіз ефективності протифільтраційної завіси на ділянці	

північно-східного борту кар'єру	80
ВИСНОВКИ	95
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	99



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ВСТУП

Дійсна робота присвячена дослідженню умов формування та прогнозній оцінці водопритоків до північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" при проектуванні розробці Інгулецького залізорудного родовища в межах ліцензійної площі.

Метою роботи є встановлення закономірностей формування кар'єрних водопритоків та особливостей їх розподілу в межах північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" для обґрунтування технічних рішень щодо його гідрозахисту.

Об'єкт дослідження – геофільтраційні процеси в межах шаруватого порідного масиву в умовах існуючого взаємозв'язку між елементами системи "північно-східний борт кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" – порідний відвал № 3 – заплава річки Інгулець".

Оцінка умов формування гідродинамічного режиму залізорудного родовища в межах північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" виконана з використанням чисельного геофільтраційного моделювання на базі програмно-алгоритмічного комплексу MODFLOW.

В процесі виконання роботи вирішені наступні задачі:

- виконані аналіз та узагальнення даних щодо геолого-гідрологічних та гірничогеологічних умов досліджуваної території та ділянки зчленування північно-східного борту кар'єру з відвалом № 3 в заплаві річки Інгулець;
- розроблена загальна гідродинамічна схема досліджуваної території, обґрунтовані геометричні розміри модельованої області та структура моделі, визначені початкові й граничні умови моделі та рівень її деталізації;
- виконана ідентифікація чисельної геофільтраційної моделі на основі вирішення зворотних задач і даних щодо рівневого режиму підземних вод в межах досліджуваної території;
- встановлені загальні закономірності формування кар'єрних водопритоків та особливості їх розподілу на ділянці північно-східного борту кар'єру в

межах м.о. 56...98;

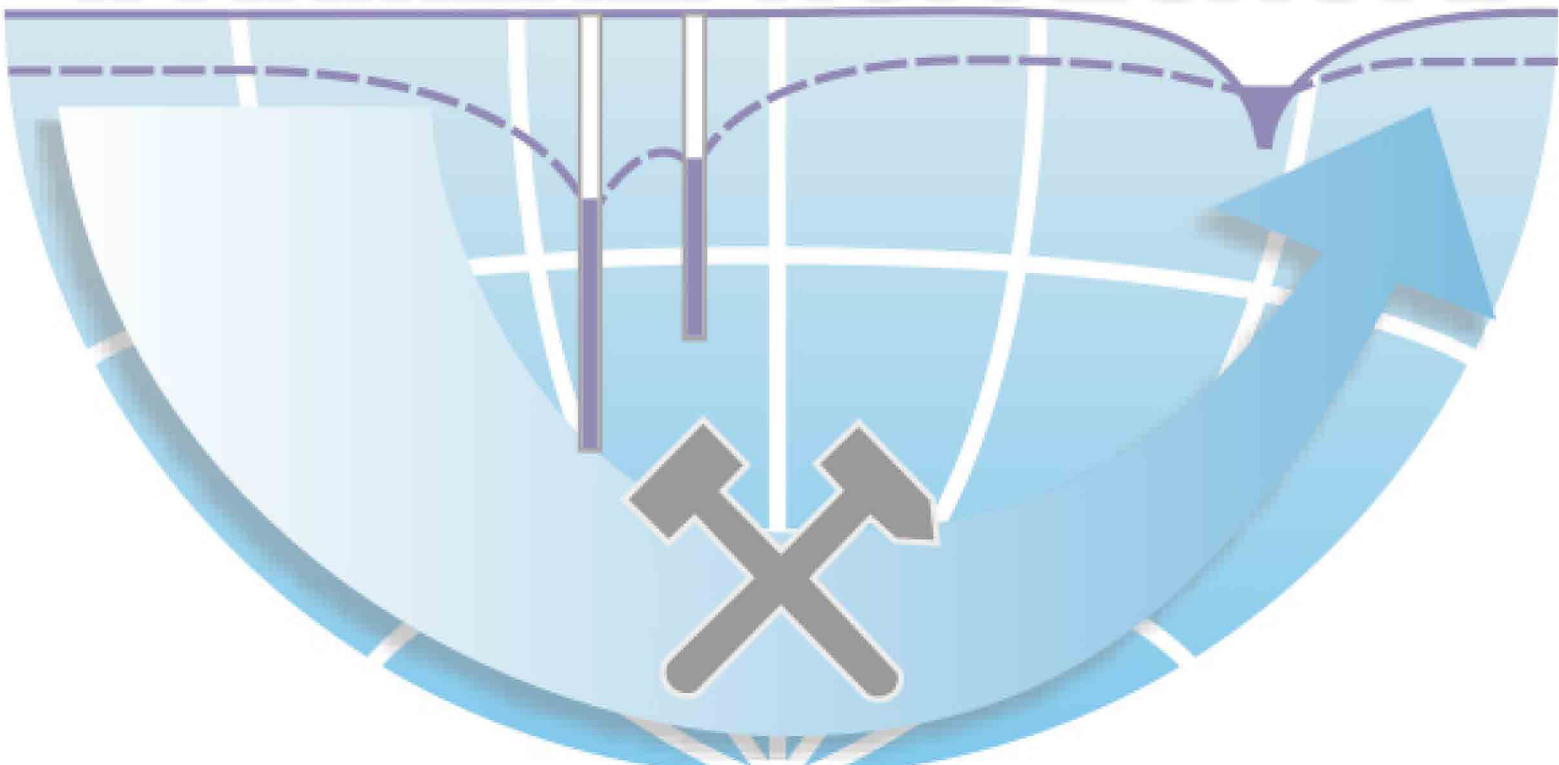
- виконана прогнозна оцінка величин водопритоків до північно-східного борту кар'єру в умовах будівництва нового русла р. Інгулець та проектного розвитку гірничих робіт;

- обґрунтовані рекомендації щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру та забезпечення його гідрогеомеханічної стійкості.

Оснoву для виконання роботи склали результати інженерних вишукувань, дані режимних спостережень та матеріали наукових досліджень, виконаних у різні роки інститутом ВІОГЕМ, Криворізькою ГГП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГІЯ", ДП "ДПІ КРИВБАСПРОЕКТ", НПП "КОРД", ВЕАГНУ АГН України, ПРАТ "ІНГЗК" та інші.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАЛІЗОРУДНЕ РОДОВИЩЕ, КАР'ЄР, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЯ, ПРОГНОЗ ВОДОПРИТОКІВ

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

Інгулецьке родовище залізистих кварцитів знаходиться в південній частині Лихманівського рудного поля Криворізького рудного району Криворізького залізорудного басейну і в геоморфологічному відношенні представляє з себе степову рівнину, полого нахилена на південь та південний схід, розчленовану долинами рік Інгулець і Вербової.

До початку робіт по розкриттю родовища поверхня його території представляла собою горбисту рівнину з невеликим нахилом на південь і південний схід, в напрямку р. Інгулець. Лише в північній частині родовища простежувалась зона обрушення від видобутку багаті залізної руди шахтою "Центральна" рудоуправління "Інгулець", де існував кар'єр по видобутку так званих "втрачених" руд.

Зараз більша частина поверхні родовища порушена розкривними та експлуатаційними роботами кар'єру ІнГЗК, відвалами гірських порід. За ступенем освоєння родовище ділиться на дві частини – південну, яка розкрита кар'єром і експлуатується, та північну, в межах якої при проведенні досліджень виконано підрахунок запасів залізистих кварцитів з метою подальшого промислового освоєння.

Абсолютні відмітки поверхні землі сучасного рельєфу змінюються від 140 м в північно-західній частині району до 22 м на південний схід, в заплаві р. Інгулець.

Уздовж східної околиці родовища протікає річка Інгулець. Річка пересікає територію Кривбасу майже в меридіональному напрямку. Зараз стік річки зарегульований греблями Карачунівського і Іскрівського водосховищ. В межах району Інгулецького родовища довжина річки складає приблизно 15 км. При спорудженні кар'єру ділянка русла р. Інгулець довжиною 1500 м була відведена на схід на відстань 400 м. Схили річних долин прорізані чисельними балками та ярами. Промислові об'єкти ІнГЗК розташовані в середній та нижній частині правого схилу р. Інгулець, ускладненого балками Городоватка, Скелевата, Бе-

резниговата. В цілях гідрозахисту кар'єру ІНГЗК поверхневий стік вищеназваних балок був зрегульований низкою ставків.

Найближча залізнична станція "Інгулець-Нова" розташована в 5 км на захід від родовища і пов'язує його зі станцією Кривий Ріг-Головний Придніпровської залізниці, по якій відбувається транспортування концентрату споживачеві і доставка необхідних матеріалів.

Постачання електроенергії здійснюється від енергосистеми "Дніпроенерго".

За архітектурно-будівельним кліматичним районуванням території України Дніпропетровська область відноситься до II-го південно-східного підрайону (степ).

Клімат Дніпропетровської області характеризується відносно холодною зимою і жарким літом. Середньорічна температура повітря становить 8,8 °С. Взимку найхолодніша доба – мінус 26 °С, влітку найспекотніша доба – плюс 30 °С.

Глибина промерзання ґрунтів не перевищує 1,05 м.

Середньомісячна кількість опадів коливається від 62 мм в червні місяці до 29 мм в лютому-березні. Кількість опадів за рік становить 475 мм. Сніговий покрив тримається 56 днів з грудня по березень.

Відносна вологість повітря в середньому за рік становить 73%.

У середньому за рік у зимово-весняний період переважають вітри східного і північно-східного напрямків, а влітку – північного напрямку, але бувають і вітри північно-східного напрямку. Середньорічна швидкість вітру складає 4,3 м/с.

2 ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РОДОВИЩА

2.1 Геологічна будова і тектоніка

В геоструктурному відношенні Інгулецьке родовище залізистих кварцитів приурочене до східної частини Лихманівської синкліналі, яка простирається на 30 км від ст. Ніколо-Козельськ на сході до міста Кривий Ріг на півночі, де вона через Тарпако-Лихманівську антикліналь пересікається з Західно-Інгулецькою і Східно-Інгулецькою антикліналями, які представляють собою замок Основної Криворізької синкліналі.

У геологічній будові району беруть участь два докембрійських комплекси порід. Найбільш стародавніми породами є мігматити і гнейси дніпровської групи, вище яких залягають нижньопротерозойські метаморфічні породи Криворізької серії (кристалічні сланці і залізисті роговики) та рихлі відклади кайнозою.

За даними вишукувань різних років [15,16,29] на всій території кристалічні породи покриті продуктами їх руйнування – корою вивітрювання, представлена, в основному, каолінами білими, світло-сірими, зеленувато-сірими, зі структурою і текстурою, що збереглася від основних кристалічних порід.

Нижній протерозой (PR_1). Криворізька серія метаморфічних порід.

Розріз криворізької серії Лихманівської синкліналі, до якої приурочено Інгулецьке родовище залізистих кварцитів, представлений утвореннями новокриворізької, скелеватської, саксаганської і гданцевської світ.

Новокриворізька світ ($PR_1(nk)$). В основі геологічного розрізу криворізької серії на метаморфізованій корі вивітрювання архейських плагіогранітів залягають породи новокриворізької світ.

В нижній частині розрізу вони представлені метатеригенними породами (метагравеліти, метапісковики, кварцити, слюдяні сланці); вище – зеленокам'яними породами. Низи розрізу складають серицит-кварцові породи з чіт-

кою шаруватістю, зернистими метауламковими структурами і сланцюватими текстурами; у верхній – всі різновиди порід, перехідних від вулканогенних до вулканогенно-осадових і осадових: лави, лавобрекчії, субвулканічні формування, туфи, туфіти, вулкано-теригенні і осадові породи.

Істинна потужність порід новокриворізької світи складає близько 250 м.

У межах Інгулецького родовища породи новокриворізької світи збереглися у вигляді невеликих лускоподібних останців, а в місцях, де вони відсутні, на корі вивітрювання плагіогранітів залягають породи скелеватської світи.

Скелеватська світа ($PR_1(sk)$) складена метакластогенними утвореннями – метаконгломератами, метагравелітами, метапісковиками, метацелітами.

Згідно з чинною стратиграфічною схемою скелеватська світа розчленовується на три підсвіти: нижню, середню і верхню.

Нижня підсвіта відома під назвою аркозового або конгломерато-пісковикового горизонту. Складена кварцовими і польовошпат-кварцовими метапісковиками з прошарками метаконгломератів і сланців.

У південній частині Кривбасу потужність її коливається від 5,0...10,0 м до 80,0...100,0 м.

У межах Інгулецького родовища породи цієї підсвіти не зафіксовані.

Середня підсвіта відома як філітовий горизонт. Вона представлена сланцями кварц-серицитового складу, які часто вміщують значну домішку тонкодисперсного графіту. В східному борту кар'єру Інгулецького родовища товща порід середньої підсвіти представлена перешаруванням тонковерстуватих кварц-серицитових сланців з метагравелітами і метапісковиками. Таке прошарування більш характерне для нижньої частини розрізу, де метагравеліти і метапісковики складають 30...35% порід. Вище по розрізу спостерігається чергування кварц-хлорит-серицитових і кварц-серицит-біотитових сланців.

Потужність порід середньої підсвіти складає 80,0...85,0 м.

Верхня підсвіта (так званий "тальковий горизонт") представлена різними тальквмісними породами: хлорит-тальковими, хлорит-карбонат-тальковими, тальк-актиноліт-тремолітовими сланцями і актиноліт-тремолітитами. У межах

родовища вказані породи зустрічаються всюди в східному борту кар'єру і у вигляді окремих лускоподібних тіл – в західному.

Саксаганська світа ($PR_1(sx)$) є основною продуктивною залізородною товщею в Кривбасі і складається із семи залізистих і семи сланцевих горизонтів.

В межах Інгулецького родовища виділяються п'ять залізистих і п'ять сланцевих горизонтів.

Гданцівська світа ($PR_1(gd)$). В ядрі Лихманівської синкліналі, від маркшейдерської осі 64 і далі на північ, залягають породи, які за мінеральним складом і текстурно-структурним особливостям різко відмінні від порід п'ятого залізистого горизонту. Вони відносяться до гданцівської світи.

У зв'язку з присутністю на контакті порід саксаганської і гданцівської світ покладів багатих залізних руд, породи гданцівської світи розкриті багатьма свердловинами і підземними гірничими виробками.

Світа представлена охристо-глинистими кварц-серіцитовими, кварц-біотит-хлоритовими сланцями і кварц-карбонатними породами.

Більш детальне їх стратиграфічне розчленування в межах родовища провести практично неможливо, враховуючи фаціальну мінливість складу порід як за падінням, так і за простяганням.

За даними інженерно-геологічних вишукувань в південній частині досліджуваної території, на якій передбачається спорудження нового русла р. Інгулець та відсікаючої перемички, свердловинами №№ 37419, 37420 і 37421 на абсолютних відмітках $-0,70 \dots -15,00$ м розкриті сланці нижнього протерозою, розкрита потужність – до 16,0 м.

Породи докембрійських комплексів майже повсюдно покриті кайнозойськими осадовими породами палеогенового, неогенового і четвертинного віків.

Потужність осадового покриву залежить від висотного положення сучасного рельєфу і понижень стародавнього рельєфу кристалічних порід.

Кайнозойські відклади широко розвинуті в Інгулецькому районі, їх сумарна потужність складає близько 100 м.

Палеогенові відклади (P).

Палеоген у межах району представлений відкладами континентальних і морських фацій еоценового та олігоценного віку. Серед відкладень палеогену виділені осади бучацького, київського та харківського ярусів. Найбільш розповсюджені тільки відклади київського ярусу.

Бучацький ярус (P_2bc) розповсюджений в незначній кількості і заповнює пониження в поверхні кристалічного фундаменту. Представлений вторинним каоліном, над яким залягають вуглисті глини темно-сірого і чорного кольору, буре вугілля, з прошарками піску. Загальна потужність бучацьких відкладень змінюється від 1,5 до 18,5 м.

На досліджуваній території вуглисті глини темно-сірого кольору бучацького ярусу зустрінуті лише однією свердловиною на ділянці проектного нового русла р. Інгулець на абсолютних відмітках 11,20 м потужністю 4,3 м.

Відкладення київського ярусу (P_2kv) залягають на відкладах бучацького ярусу, а в місцях його відсутності – на розмитій поверхні кристалічних порід. Вони складають корінне ложе долини р. Інгулець і в заплаві залягають під алювіальними відкладами четвертинного віку. Відклади представлені мергелястими та алевритовими глинами від блакитно і зеленувато-сірого до темно-синього кольору, слюдистими, з уламками черепашок.

Вище глин залягають піски мілкі, кварцові червоно-бурого або сірувато-жовтого кольорів. Загальна потужність київських відкладень складає 51,0...52,9 м.

В межах практично всієї досліджуваної території до розвіданої глибини 30,0 м розкриті алевритові глини київського ярусу світло-сірого, блакитно- і зеленувато-сірого кольору з уламками черепашок. Місцями глини з охристо-бурими плямами, піскуваті, слюдисті, до низу з включеннями щебеню міцних кристалічних порід.

На ділянці передбачуваного спорудження нового русла р. Інгулець та протифільтраційної завіси вони знаходяться на абсолютних відмітках 8,00...27,30 м з розкритою потужністю до 23,8 м, в межах північної ділянки досліджуваної території – на абсолютних відмітках 10,70...14,20 м з розкритою

потужністю до 6,5 м.

На ділянці подовження протифільтраційної завіси відклади палеогену представлені алевритовими глинами київського ярусу блакитно- і зеленувато-сірого кольору з уламками стулок черепашок. Глини до низу часто перекристалізовані, місцями з включеннями щебеню міцних кристалічних порід. Залягають глини на абсолютних відмітках 10,80...21,20 м, розкрита потужність від 14,1 до 22,6 м.

Харківський ярус (P_{3hr}) складений глинами слюдяними світлими зеленувато-сірими, місцями з окисами заліза. Серед глин інколи зустрічаються прошарки кварцового піску та марганцевої руди. Потужність глин складає 1,5...3,6 м.

В межах досліджуваної території відклади харківського ярусу відсутні. Вище харківської свити залягають відклади неогенового періоду. Вони представлені сарматським, меотичним і понтичним ярусами.

Неогенові відклади (N).

Відклади сарматського ярусу (N_{1s}).

Відклади сарматського ярусу залягають на розмитій поверхні київських глин і лише на ділянці поряд з кар'єром на породах харківського ярусу. Літологічно ці відкладення представлені вапняками та мергелястими глинами, місцями зустрічаються піски. Серед вапняків виділяються дві пачки: верхня та нижня.

Вапняки білого та жовтувато-білого кольору, перекристалізовані, міцні, тріщинуваті, з включеннями оолітових вапняків. До низу, в основному, вапняки мілкооолітові, слабозцементовані з тонкими прошарками міцно зцементованих вапняків. Місцями вапняки перешаровуються з мергелястими глинами зеленувато-сірого кольору.

Відклади меотичного ярусу (N_{1m}).

Відклади меотичного ярусу залягають на сарматських вапняках і представлені витриманим шаром зеленувато-сірих глин, місцями з лінзами піску, часто з окисами заліза. Покрівля меотичних глин знаходиться на глибині 14,5...29,0 м

від існуючої поверхні землі, на абсолютних відмітках 51,30...52,60 м. Місцями в ній зустрічаються прошарки міцного та вивітрілого вапняку. Потужність цього вапняку незначна – 0,3...0,6 м.

Відклади понтичного ярусу (N_1p).

Відклади понтичного ярусу залягають на меотичних глинах і представлені вапняками, в покрівлі яких залягають сірі глини. Вапняки розповсюджені повсюди і виходять на поверхню вздовж правобережного схилу долини р. Інгулець у вигляді смуги шириною від 30 до 250 м. Вище по схилу вапняки покриваються важкими суглинками верхніх ярусів пліоцену. Понтичні вапняки також виходять на поверхню на схилах балки Безіменної та розкриті західним бортом кар'єру ПРАТ "ІНГЗК". По балці Скелевата, там де споруджено ставок, вапняки перекриті тільки четвертинними відкладами.

Серед понтичних вапняків виділяють два горизонти: верхній – черепашник, і нижній – оолітовий. Черепашниковий горизонт у верхній частині розрізу представлений перекристалізованими вапняками. Перекристалізація характерна для верхньої частини даного горизонту (В.Д. Натаров, 1951). Перекристалізовані вапняки світло-сірого, інколи білого кольору, сильно вивітрілі. Виділити окремі стулки черепашок на початку шару неможливо. Нижче перекристалізовані вапняки переходять в вапняки-черепашники. Порода жовтувато-сірого кольору, сильно тріщинувата. Місцями в них знаходяться прошарки перекристалізованих вапняків.

Нижній горизонт понту складений мілкооолітовими вапняками, частково перекристалізованими, міцними. Вапняки сильно тріщинуваті. Характерною властивістю оолітових вапняків є їх кавернозність. Каверни знаходяться у вигляді вертикальних та горизонтальних пустот. Каверни без заповнювача мають округлу форму розміром від кількох міліметрів до 3...4 см. Виникнення каверн пов'язують з дією води, яка вимиває м'які частинки породи по ходам черв'яків, що жили в вапняковистому мулі на дні понтичного моря. Майже вся товща вапняків закарстована. Найбільш інтенсивно проявляється карст в зоні циркуляції підземних вод.

Вище вапняки перекриті сірими глинами кимерійського ярусу (N_2km), міцними, твердими, з карбонатними включеннями.

В межах території, що досліджуються, відклади неогенового періоду повністю розмиті.

Відклади верхнього пліоцен-нижньочетвертинного відділу нерозділені ($N_2^3-Q_1$).

Нерозділені відклади верхнього пліоцен-нижньочетвертинного відділу представлені глинами бурого, коричнево-бурого кольору, важкими, в'язкими, щільними, твердими, з вапняковистими включеннями, з лінзами охристо-бурого, сірувато-бурого піску, та пісками сірувато-бурого кольору. Ці відклади залягають на сірих глинах понтичного ярусу, мають площинне розповсюдження.

В межах досліджуваної території ці відклади не зустрінуті.

Четвертинні відклади (Q).

Четвертинні відклади зустрічаються в межах всього району і утворюють суцільний покрив потужністю від кількох до 10,0 м на водорозділах та до 19,0 м в заплаві р. Інгулець. Вони відсутні лише на окремих ділянках схилу долини р. Інгулець і в балках, де на денній поверхні оголюються вапняки понтичного та сарматського ярусів.

Ці відклади залягають на товщі порід палеогенової системи і в стратиграфічному відношенні діляться на нижньочетвертинні, середньочетвертинні, верхньочетвертинні та сучасні. Представлені вони лесовидними суглинками, алювіально-делювіальними та алювіальними відкладами. Лесовидні суглинки поширені на водорозділах та пологих схилах, де плащоподібно покривають важкі суглинки і червоно-бурі глини. Представлені товщею жовто-бурих, палевих шарів, розділених шарами викопного ґрунту.

Делювіальні відклади розвинуті на схилах балок і долини річки та представлені жовто-бурими суглинками потужністю до 5,0 м.

Алювіальні відклади четвертинної системи приурочені до днищ балок і пойми річки Інгулець. Потужність алювіальних відкладів змінюється від кіль-

кох метрів до 19,0 м. В верхній частині розрізу вони представлені суглинками і супісками, іноді глинами. Нижче залягають кварцові піски різної крупності з включеннями гальки та гравію. Потужність пісків змінюється від 2,3 до 10,0 і більше метрів. Сучасний відділ четвертинної системи представлений ґрунтово-рослинним шаром потужністю 0,2...0,5 м, іноді до 1,4 м.

За даними вишукувань четвертинні відкладення на території, де передбачається спорудження нового руслу р. Інгулець і протифільтраційної завіси, представлені алювіальними пісками різної крупності з включеннями щебеню, гальки та гравію кварцу та міцних кристалічних порід, глинами піскуватими, мілкими пісками.

Піски жовто-бурого, сірувато-бурого кольору, різної крупності зі щебенем різного розміру кварцу та міцних кристалічних порід, галькою та гравієм розповсюджені практично по всій території на абсолютних відмітках 13,60...28,50 м, потужністю, що дуже змінюється, від 0,8 до 16,3 м, зрідка виклинюючись.

Над ними зустрінуті піскуваті глини шаром потужністю від 0,3 до 4,9 м, на абсолютних відмітках 18,40...28,70 м, які залягають лінзоподібно. Вище, також практично на всій території, залягають піски мілкі зеленувато-, сірувато-бурого, палевого, білого кольору потужністю від 1,6 до 14,7 м, на абсолютних відмітках 18,10...42,00 м.

Вище пісків залягають алювіальні суглинки та супіски сірувато-бурого, темно-бурого до чорного кольору, зрідка жовто-бурого сіруватого кольору. Часто вони дуже гумусовані, іноді мулисті.

Характерним для алювіальних відкладень є дуже невтримане залягання шарів четвертинних супісків, суглинків та глин. Вони часто виклинюються або залягають у вигляді лінз.

На ділянці подовження протифільтраційної завіси четвертинні алювіальні відклади зустрічаються в межах всієї ділянки і залягають на товщі палеогенових глин київського ярусу.

Піски сірого, темно-сірого кольору, різної крупності зі щебенем різного

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

розміру кварцу та міцних кристалічних порід, місцями з включеннями мулистої глини; розповсюджені по всій території ділянки на абсолютних відмітках 13,30...23,60 м, потужністю від 1,7 до 7,8 м.

Над ними лінзоподібно залягають піскуваті глини шаром потужністю від 1,4 м до 5,0 м, на абсолютних відмітках 17,6...24,1 м. Між пісками та піскуватими глинами свердловиною № 37483 зустрінутий мул чорний, з сизим відтінком, слабопіскуватий, з включеннями стулок черепашок потужністю 2,5 м, на абсолютній відмітці 15,80 м.

Вище, також практично по всій території, залягають піски мілкі і пилюваті сірувато- та жовто-бурого кольору, потужністю від 0,8 до 4,9 м, на абсолютних відмітках 20,7...25,6 м.

Вище пісків залягають алловіальні суглинки та супіски сірувато- та темно-бурого кольору, зрідка жовто-бурого сіруватого кольору. Часто вони дуже густосовані. Сумарна потужність суглинків складає 6,0 м, зустрінуті вони на абсолютних відмітках 22,90...27,60 м. Супіски місцями виклинюються, максимальна потужність шару складає 2,2 м. Залягають супіски на абсолютних відмітках 22,90...25,60 м.

Шар підгрунтя представлений суглинками темно-бурими, нерівномірно піскуватими, потужність шару від 0,4 до 2,1 м, зустрінутий на абсолютній відмітці 27,70 м.

Зверху товща суглинків перекрита сучасним ґрунтово-рослинним шаром.

Місцями товща покрита насипними ґрунтами, представленими суглинками різного кольору, нерівномірно ущільненими, місцями з включеннями щебеню кристалічних порід, потужність шару від 0,3 до 3,0 м.

Згідно матеріалів вишукувань [30,31] досліджувана територія на глибину до 30,0 м представлена наступними інженерно-геологічними елементами (ІГЕ):

ІГЕ-1 – Насипний шар представлений щебенем кристалічних порід різної крупності з піщано-глинистим заповнювачем;

ІГЕ-2 – Насипний шар представлений суглинками, пісками та глинами, місцями з чорноземом, з включеннями щебеню кристалічних порід;

ПЕ-3 – Ґрунтово-рослинний шар (суглинок піскуватий, супісок, пісок), твердий;

ПЕ-4 – Суглинок лесовидний, темно-бурий, гумусований, місцями зі щебенем вапняку, піскуватий, твердий і м'якопластичний;

ПЕ-5 – Пісок мілкий, жовто-бурий, темно-бурий, місцями сильногумусований, маловологий;

ПЕ-6 – Супісок мілкий та пилюватий, жовто-бурий, щільноцементований, неоднорідний, місцями з прошарками піску, твердий і м'якопластичний;

ПЕ-7 – Суглинок жовто-бурий сіруватий, сірувато-бурий, неоднорідний, місцями з включеннями темно-бурого суглинку, місцями зі щебенем вапняку, твердих зерен карбонатів, піскуватий, твердий і м'якопластичний

ПЕ-8 – Суглинок лесовидний легкий, темно- та сірувато-бурий, гумусований, карбонатний, нерівномірнопіскуватий, місцями зі щебенем вапняку, твердий і м'якопластичний;

ПЕ-9 – Суглинок лесовидний легкий, палевий, сіруватий, неоднорідний, пилюватий, піскуватий, твердий і м'якопластичний;

ПЕ-10 – Суглинок лесовидний середній, сірувато-бурий, жовто-бурий, неоднорідний, сильно піскуватий, з прошарками мілкого піску та карбонатів, місцями зі щебенем вапняку, твердий і м'якопластичний;

ПЕ-11 – Пісок мілкий та пилюватий, жовто- та сірувато-бурий, палевий, білий, глинистий, з прошарками зеленувато-сірої та білої вапнистої глини і карбонатів, з включеннями щебеню вапняку, маловологий та водонасичений;

ПЕ-12 – Глина жовто- та сірувато-бура, нерівномірнопіскувата, місцями з прошарками піску;

ПЕ-13 – Пісок різної крупності від мілкого до гравелистого, світло- і жовто-бурий, сірий, зі щебенем, галькою та гравієм кварцу та кристалічних порід різної крупності, водонасичений;

ПЕ-14 – Глина алевритова, зеленувато-сіра та блакитно-сіра, на початку шару з охристими плямами, щільна, тугопластична, зі стулками черепашок, слюдиста, місцями піскувата, до низу часто перекристалізована, з включеннями

щебеню кристалічних порід, тверда;

ПЕ-15 – Глина темно-сіра, вуглиста, щільна, в'язка, тверда;

ПЕ-16 – Сланець червоно-фіолетовий, вивітрілий, зруйнований до глинистого стану, зі структурою, що збереглася, легко розламується руками, твердий.

2.2 Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні умови району визначаються його кліматичними умовами, геоморфологією та геологічною будовою. В гідрогеологічному відношенні досліджувана територія характеризується наявністю чотирьох безнапірних, ізольованих один від одного, водоносних горизонтів:

- горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію;
- горизонту в сарматських вапняках;
- горизонту в понтичних вапняках;
- горизонту в четвертинних відкладах.

Водоносний горизонт тріщинуватих кристалічних порід докембрію приурочений до тріщинуватої зони архею (граніти, мігматити) і нижнього протерозою (сланці, піщаники, залізисті роговики, джеспіліти, руди). За умовами залягання і циркуляції підземні води відносяться до тріщинних і тріщинно-пластових. Водонасиченість горизонту пов'язана з розвитком тріщинуватості і тектонічних зон дроблення, що зумовлює різний ступінь водонасичення цих порід як за глибиною, так і за площею. Найбільш тріщинуватими і, як наслідок, водонасиченими є породи сланцевого і залізистого горизонтів. Коефіцієнти фільтрації докембрійських метаморфічних порід за даними дослідних робіт експедиції "Кривбасгеологія" змінюються в широкому діапазоні – від 0,00045 до 6,25 м/доб.

На досліджуваній території цей водоносний горизонт не зустрінутий.

Сарматський водоносний горизонт. Водовмісні породи представлені тріщинуватими мілкоолітовими вапняками. Контур їх розповсюдження практично

повторює контур розміщення понтичних вапняків. Нижнім водотривким шаром для горизонту служать глини київського, рідше – харківського ярусу.

Величина коефіцієнта фільтрації сарматських вапняків складає, в основному, 0,5...0,6 м/доб, потужність горизонту – 6,0...19,0 м, абсолютні відмітки рівня води – 35,00...40,00 м, що відповідає глибинам від поверхні 21,0...40,0 м.

На ділянках вишукувань в межах східного борту кар'єру сарматський водоносний горизонт не зустрінутий.

Понтичний водоносний горизонт приурочений до тріщинуватих мілкоолітових вапняків і вапняків-черепашників. Нижнім водотривким шаром для них є меотичні глини, які мають невелику потужність – 1,0...5,0 м, що сприяє гідравлічному зв'язку понтичного і сарматського горизонтів.

Джерелом живлення горизонту в природному стані служать атмосферні опади. Однак, для техногенної території, яка характеризується порушеними природними умовами, зменшенням ступеня ізольованості водоносних шарів, наявності протікань із водонесучих комунікацій, характерно збільшення джерел живлення.

Потужність горизонту до 5,0 м, рівні знаходяться на глибині 2,0...27,0 м, на абсолютних відмітках 50,00...56,00 м.

В товщі четвертинних відкладень виділяються кілька горизонтів: водоносний горизонт в лесовидних суглинках та алювіальний водоносний горизонт в заплаві річки Інгулець. Водоносний горизонт, приурочений до лесоподібних макропористих суглинків, розвинутий в основному на вододілах, і має обмежене поширення в даному районі.

Грунтові води першого від поверхні горизонту мають вільну поверхню. Водотривким шаром для них являються важкі червоно-бурі суглинки та глини (з коефіцієнтом фільтрації 0,0002...0,002 м/доб). Товща лесоподібних суглинків має низькі фільтраційні властивості, які в вертикальному напрямку значно вище, ніж в горизонтальному. Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, зрошування земельних ділянок, технологічних втрат з водонесучих комунікацій, "мокрих" технологічних процесів

та інше.

Водоносний горизонт алювіальних відкладень широко розвинений в заплаві річки Інгулець. Водовмісними породами є піски, супіски та суглинки. Залягає горизонт на розмитій поверхні київських глин, які є для нього водотривким шаром. Води алювіальних відкладень мають вільну поверхню. Коефіцієнт фільтрації за результатами дослідних випробувань, проведених ВІОГЕМ (м. Белгород) змінюється від 0,2 до 38,0 м/доб [16].

На ділянці проектного будівництва нового русла р. Інгулець та протифільтраційної завіси розкрито водоносний горизонт в четвертинних алювіальних відкладах, представлених супісками, піскуватими суглинками та пісками жовто-бурого, сірувато-бурого кольору, різної крупності зі щебенем різного розміру кварцу та міцних кристалічних порід, галькою та гравієм, і пісками мілкими, піскуватими глинами. Залягає цей горизонт на абсолютних відмітках 17,30...27,30 м на глибині 1,5...15,5 м від існуючої денної поверхні, на розмитій поверхні київських глин, які є для нього водотривким шаром. Води горизонту мають вільну поверхню.

В цій частині ділянки в результаті розкриття кар'єром алювіальних відкладів відбувся перерозподіл напрямку руху потоку від річки до базису розвантаження потоку, яким є східний борт кар'єру. В цілях захисту кар'єру від обводнення водами алювіального водоносного горизонту, русло річки Інгулець було спрямлене і відведене на відстань 400 м, а на східному борту споруджена протифільтраційна завіса, яка представляє собою укладену в траншею і заповнену розчином бентонітової глини поліхлорвінілову плівку, з проектним коефіцієнтом фільтрації 0,001 м/доб.

Спорудження протифільтраційної завіси значно зменшило кількість води, яка надходила в кар'єр. Так, на період вишукувань під будівництво протифільтраційної завіси в 1974 р. інститутом "Укрспецбудпроект" рівень води по трасі завіси знаходився на глибині 1,4...13,0 м від поверхні, що відповідало абсолютним відміткам 21,16...21,67 м. За даними вишукувань ДП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГІЯ" в 1989 р. рівень води між руслом річки та протифільтраційною завісою

залигав на відмітках 20,50...20,60 м, а між протифільтраційною завісою і східним бортом – на відмітках 14,59...17,63 м, тобто розрив в відмітках складає 3,0...6,0 м [29].

За даними сучасних вишукувань рівень води між річкою і протифільтраційною завісою знаходиться на абсолютній відмітці 21,80 м, а між протифільтраційною завісою і кар'єром – на відмітці 19,70 м. Це свідчить про те, що розвантаження горизонту в цій частині ділянки відбувається в кар'єр ПРАТ "ІНГЗК".

На ділянці подовження протифільтраційної завіси водоносний горизонт в четвертинних алювіальних відкладах, представлених супісками, піскуватими суглинками, пісками мілкими та різної крупності, зі щебенем кварцу та міцних кристалічних порід, розкрито на абсолютних відмітках 18,80...23,10 м на глибині 3,5...8,6 м від існуючої поверхні землі, на розмитій поверхні київських глин, які є для нього водотривким шаром. Води горизонту мають вільну поверхню.

Живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок атмосферних опадів, а також завдяки дії техногенних факторів, в тому числі – завдяки штучно створеним техногенним формам рельєфу.

На ділянках спорудження нового русла р. Інгулець та протифільтраційної завіси рівень води алювіального горизонту тісно пов'язаний з рівнем води в річці Інгулець.

Спостереження за алювіальним водоносним горизонтом, які проводить "Укрчерметгеологія", підтверджують, що цей горизонт знаходиться під впливом цілого ряду природних та штучних факторів, до яких відносяться кліматичні і метеорологічні, дренажний вплив кар'єру, спорудження протифільтраційної завіси та розміщення в зоні розвитку алювіального горизонту відвалу № 3. Причому, штучні фактори мають вирішальний вплив на режим живлення водоносного горизонту. При спостереженні за рівнем води не відмічається якоїсь чіткої закономірності змін рівня протягом року. Річна амплітуда коливань рівня складає від 0,32 до 0,91 м.

Фільтраційні властивості четвертинних алювіальних відкладів раніше визначалися різними організаціями дослідними кушовими наливками, наливками в одиночні свердловини та шурфи.

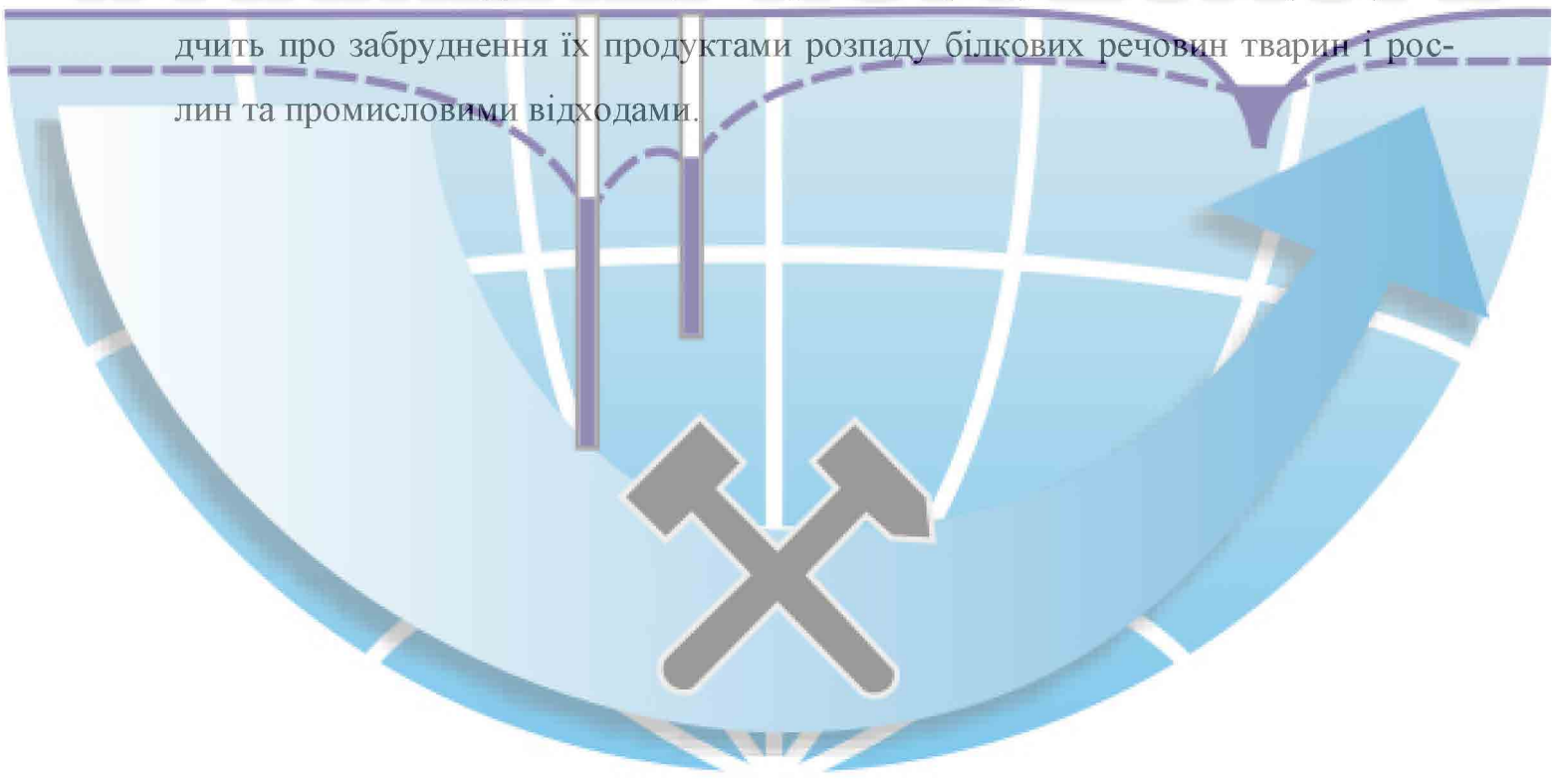
За результатами одиночного відкачування зі свердловини № 37482 середній коефіцієнт фільтрації водовміщуючих ґрунтів, якими є суглинки лесовидні, складає 0,20 м/доб.

За даними лабораторних визначень коефіцієнт фільтрації пісків мілких – 0,32...3,23 м/доб, пісків різної крупності, зі щебенем кварцу та міцних кристалічних порід – 4,07... 15,7 м/доб.

За хімічним складом ґрунтові води відносяться переважно до сульфатно-хлоридного, гідрокарбонатно-хлоридного кальцієво-натрієвого і хлоридно-сульфатного магнієво-натрієвого типам з вмістом іонів SO_4^{2-} від 0,1 до 1,7 г/л; Cl^- – від 0,16 до 1,8 г/л; HCO_3^- – від 3,1 до 12,4 мг-екв/л; pH – від 6,7 до 8,1; сульфатним залишком від 0,7 до 5,65 г/л.

Наявність в ґрунтових водах нітрит іонів (NO_2^-) і іонів амонію (NH_4^+) свідчить про забруднення їх продуктами розпаду білкових речовин тварин і рослин та промисловими відходами.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



3 ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ

3.1 Гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови північно-східного борту кар'єру

Гірничо-геологічні умови північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" визначаються складною гідрогеомеханічною взаємодією природних та технічних елементів системи "залізорудний кар'єр – породний відвал № 3 – алювіальні відклади в заплаві річки Інгулець" [17,18,25,30,31].

Протягом всього часу відпрацювання Інгулецького залізорудного 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 річки 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 річки Інгулець до контуру їх дренавання в інтервалі розкриття алювіальних відкладень бортом кар'єру.

За даними ПРАТ "ІНГЗК" безпосередньо на ділянці північно-східного борту кар'єру з водопритоками пов'язаний розвиток деформаційних процесів різного характеру, найбільшими з яких 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 підпошвеного типу у 1988 р. (об'ємом 6 млн. м³) та у 2001 і 2004 роках (рис. 3.1).

Після зсуву 1993 року 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 роках для захисту східного борту від проникнення фільтраційних вод з річки Інгулець в кар'єр була введена в експлуатацію протифільтраційна завіса.

Проект протифільтраційної завіси розроблений проектно-вишукувальною конторою "Укрспецбудпроект" у грудні 1975 року. Метою проекту був захист східного борту кар'єру від проникнення фільтраційних вод р. Інгулець в кар'єр.

Конструктивно протифільтраційна завіса представляє собою траншею шириною 1,0 м глибиною в середньому від 6,0...8,0 м до 11,0...16,0 м. Низ траншеї заглиблений в середньому на 1,0 м в покрівлю щільного зеленувато-сірого алевроїта, який вважається водотривом. На бічних стінках траншеї, нижче розлинного шару, закріплена поліхлорвінілова плівка, а створений об'єм заповнений розчином бентонітової глини.

Загальна протяжність протифільтраційної завіси, яка поетапно вводилася в експлуатацію протягом 1976-1977 років, згідно проекту становить 2960 м.

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

Проведений в 1986 році співробітниками ДОННІГРІ комплекс геофізичних робіт щодо визначення цілісності протифільтраційної завіси показав, що сумарна потужність зон фільтрації вздовж траси протифільтраційної завіси від ПК 7 до ПК 24 дорівнює 1175 м, що складає 68% від довжини її траси між цими пікетами (див. рис. 3.1).

17 липня 1988 р. відбувся підшошвений зсув східного укосу відвалу № 3, валом випірання якого було повністю зруйновано тіло протифільтраційної завіси від ПК 24 до ПК 35 загальною довжиною 1060 м і перекрито русло річки Інгулець.

Дотепер ділянка траси протифільтраційної завіси з ПК 28 до ПК 35 засипана породами відвалу № 3.

З наведеного був зроблений висновок, що:

- захисні властивості протифільтраційної завіси від ПК 7 до ПК 24 вже до кінця 1986 року були знижені на 68% і можливо дотепер зведені до нуля;

- частина протифільтраційної завіси 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 земної кори – субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького та субширотного Консько-Нікопольського, які характеризуються в теперішній час тектонічною і флюїдальною активізацією, що приводить до деградації 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 Консько-Нікопольський, представлений серією зближених розломів.

В межах досліджуваної території ширина зон деградації осадового чохла досягає сотні метрів, що в цілому може несприятливо позначатися на стійкості гірничотехнічних об'єктів.

3.2 Аналіз умов формування кар'єрних водопритоків

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 річки Інгулець, за рахунок яких відбувається формування динамічних ресурсів алювіального водоносного горизонту, та інфільтраційне живлення четвертинного водоносного горизонту в межах розташування порідного відвалу № 3 в заплаві річки Інгулець.

Про визначальний вплив фільтрації з річки 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 [30,31,36].

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 протифільтраційної завіси, але ефективність завіси з часом була суттєво знижена за рахунок чисельних порушень її цілісності [18,25].

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 (рис. 3.2...3.8) в умовах переважаючого впливу режиму р. Інгулець на формування кар'єрних водопритоків (рис. 3.9).

Встановлена залежність дозволяє розглядати формування акумулятивних вод в межах порідного відвалу у якості одного з чинників, який сприяє обводненню північно-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 порідного відвалу № 3 та його гідрогеомеханічну стійкість є розвиток зсувних процесів в межах північно-східного борту кар'єру та самого відвалу, які відбувалися протягом всього часу освоєння родовища. Так, на початку 80-х років в межах східного борту кар'єру відбулося декілька 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 ПЕ-13, які мають значну гідравлічну проникність, що забезпечує транзит фільтраційних вод річки Інгулець до кон-

туру дренавання, яким є східний борт кар'єру ПРАТ "ІНГЗК".

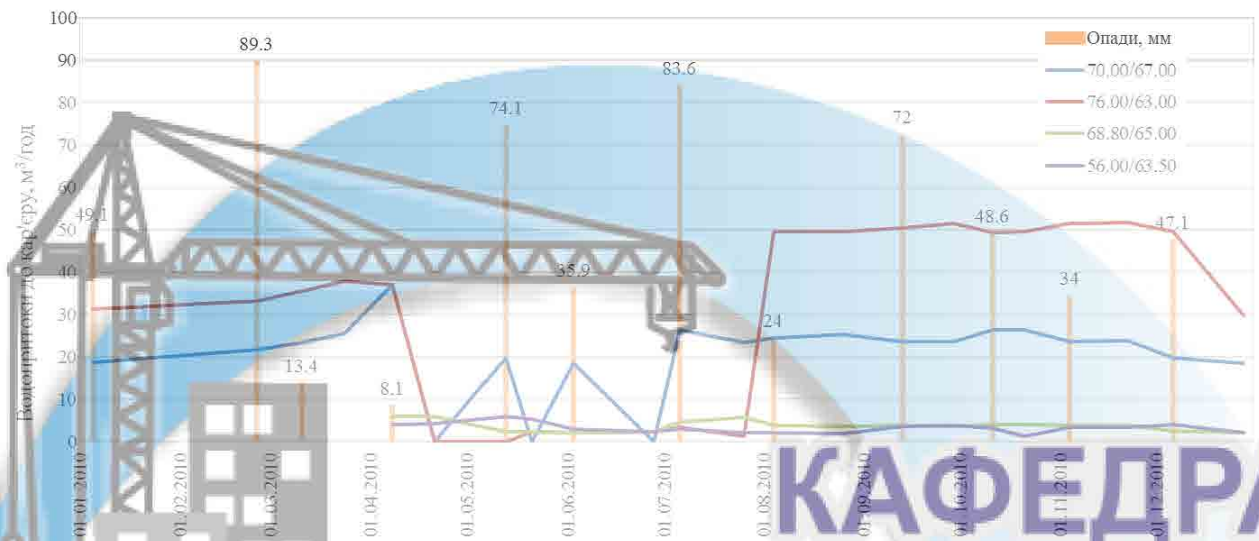


Рисунок 3.2 – Динаміка водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2010 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")

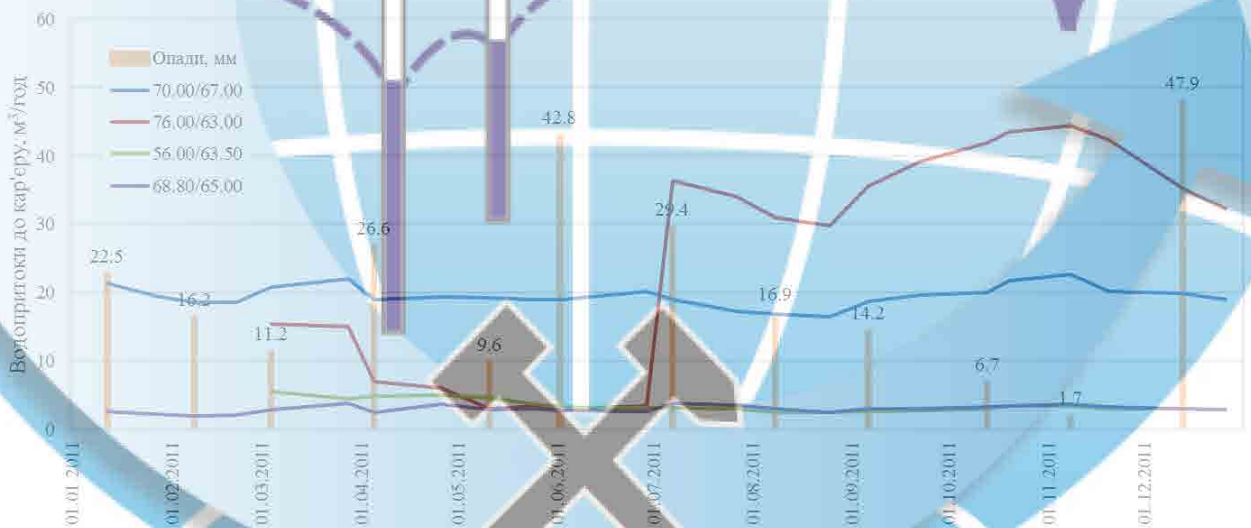


Рисунок 3.3 – Динаміка водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГОК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2011 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")



Рисунок 3.4 – Динаміка водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2012 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")

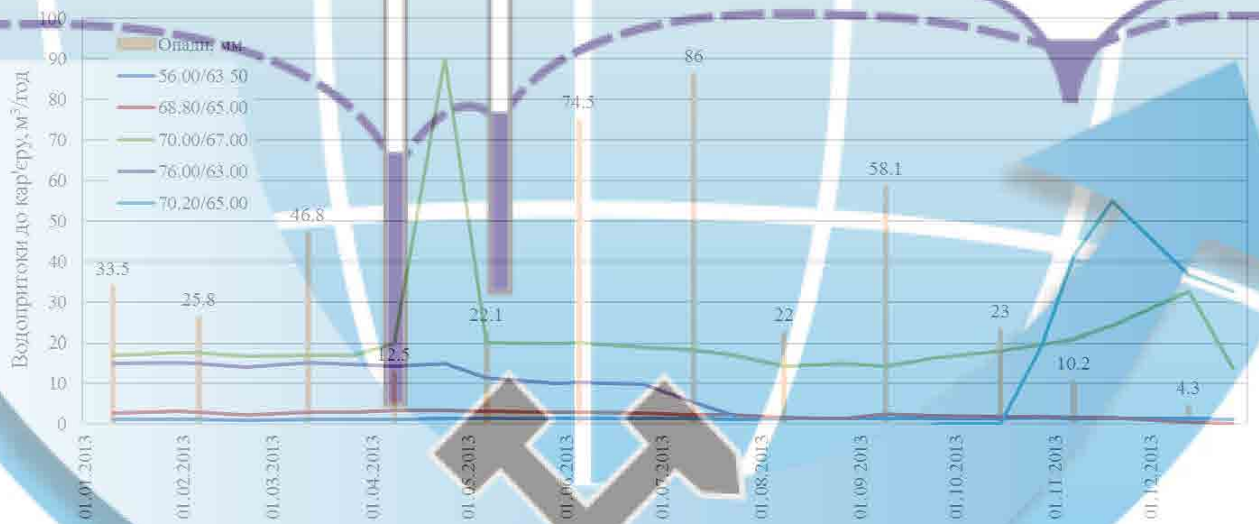


Рисунок 3.5 – Динаміка водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2013 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")

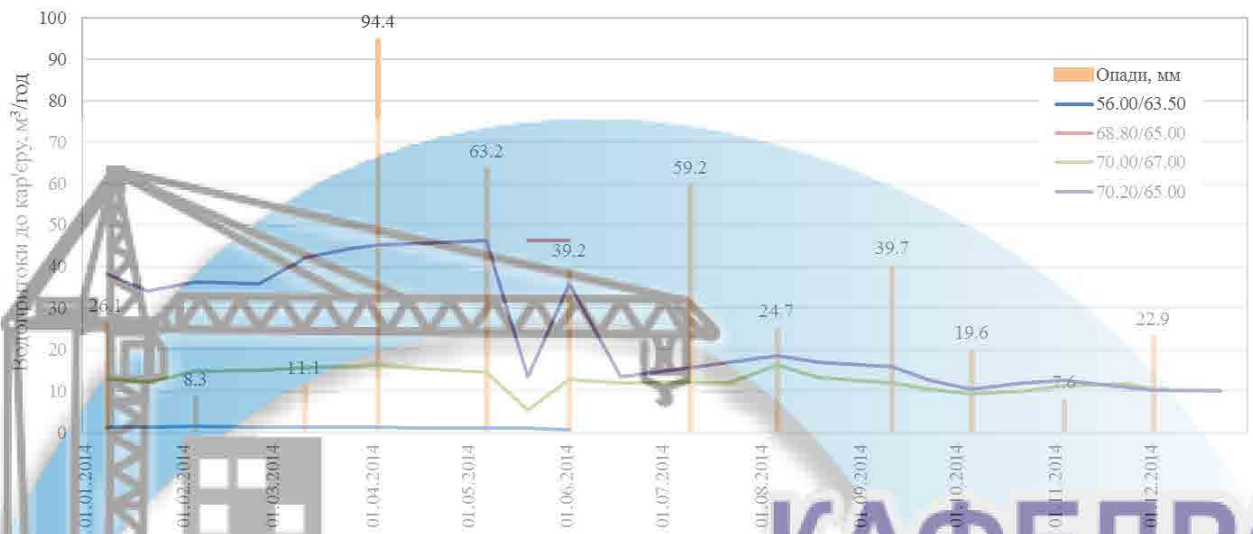


Рисунок 3.6 – Динаміка водопитоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2014 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")

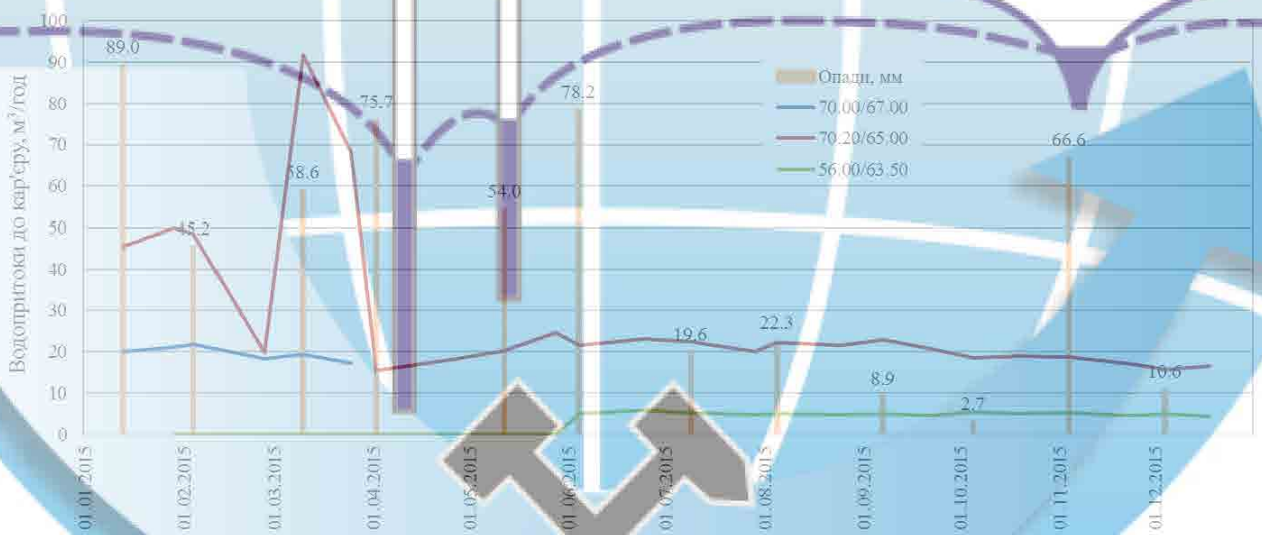


Рисунок 3.7 – Динаміка водопитоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2015 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")



Рисунок 3.8 – Динаміка водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та розподіл атмосферних опадів в річному перерізі, період спостережень – 2016 р. (за даними ПРАТ "ІНГЗК")



Рисунок 3.9 – Динаміка рівня води в р. Інгулець за даними спостережень на річкових постах в 2016 р.

Характерною особливістю розподілу водопритоків в межах східного борту кар'єру та його північно-східної 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 північно-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 (підосіви алювіальних різнозернистих пісків) на відмітках -6,0...+7,0 м (рис. 3.10).

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

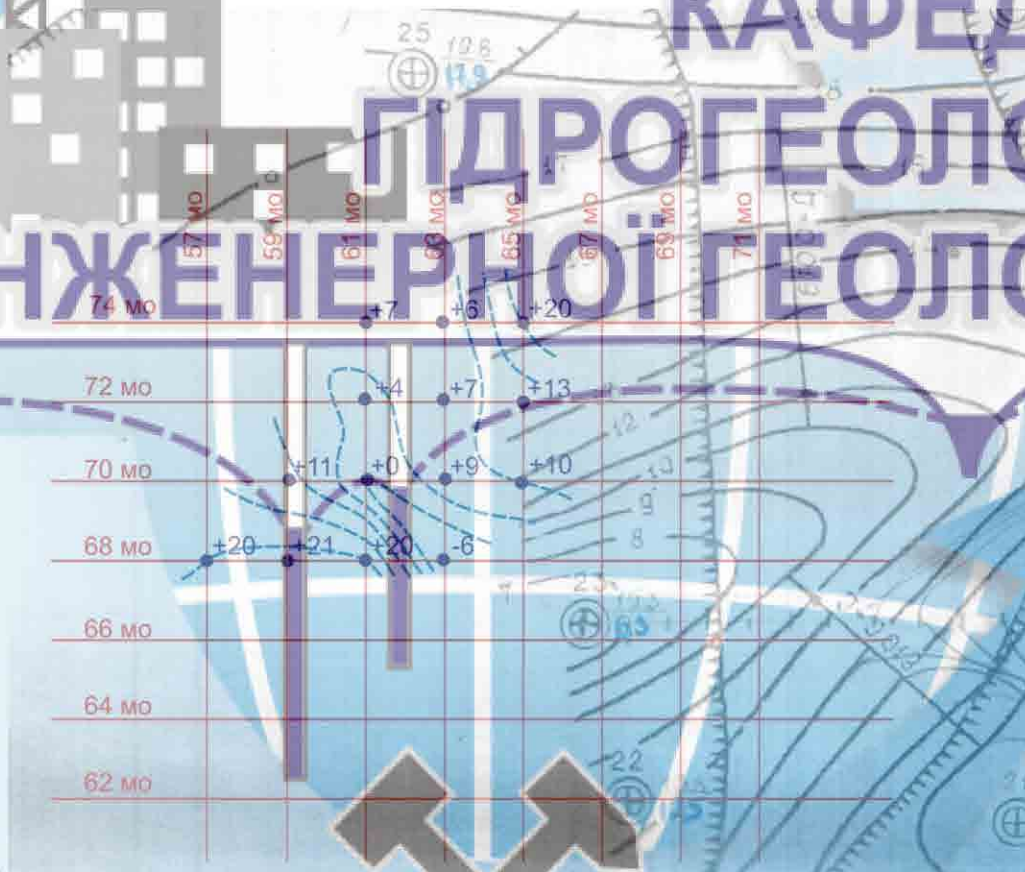


Рисунок 3.10 – Положення покрівлі київських глин на контурі північно-східного борту кар'єру в межах м.о. 68...74/57...67 (за даними ПРАТ "ІНГЗК")

В зв'язку з викладеним, при розробці геофільтраційної моделі досліджуваної території до уваги прийняті фактичні дані щодо величин водопритоків та їх розподілу в межах східного борту кар'єру, особливості залягання алювіаль-

них відкладень на ділянці сполучення кар'єру з породним відвалом № 3, закономірності змін фільтраційних властивостей водовмісних відкладень в межах досліджуваної території, характер гідравлічного зв'язку річки Інгулець з водовмісними відкладеннями та прогнозований рівень інфільтраційного живлення техногенного горизонту на ділянці розташування породного відвалу.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

4 МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНЦІ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ

4.1 Математичне забезпечення та структура чисельної геофільтраційної моделі

При оцінці водопритоків до східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та його північно-східної ділянки використана реалізована у програмному комплексі MODFLOW 2009.1 чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (4.1)$$

де k_{xx} , k_{yy} і k_{zz} – гідралічні 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 (4.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідралічних провідностей співпадають з напрямками координатних осей [2,6,7,8,13,14].

Для вирішення рівняння (4.1) 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 – ши-

рина 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:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

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 (L^2/T); $P_{i,j,k}$ – сума коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притока-відтоку в блоці (L^2/T); $Q_{i,j,k}$ – сумарні значення витрат притока-відтоку (L^3/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 і $i, j+1, k$.

В умовах стаціонарного потоку ємність постійна, тому права частина рівняння (4.2) прирівнюється до нуля.

Застосування рівняння (4.2) 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 (4.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
 & + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - \\
 & - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k} + \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}. \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

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

В рівнянні (4.3) $HCOF_{i,j,k}$ містить $P_{i,j,k}$ і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в ліву частину рівняння). $RHS_{i,j,k}$ містить витрату потоку Q (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в праву частину рівняння), і частина питомої ємності, яка помножена на значення напору на часовому кроці $m-1$.

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:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,k,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (4.4)$$

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

В структурі чисельної моделі при використанні одного пакета параметрів внутрішнього потоку (далі пакета) використовуються пакети характеристик витрат, до яких відносяться живлення в межах модельованої області і на її контурах, інфільтраційне живлення, робота водозабірних і нагнітаючих свердловин, лінійних і площинних дренажних споруд та інше.

Кожен пакет, який містить різні джерела живлення або розвантаження, називається пакетом характеристик витрат, при цьому розвантаження розглядається як від'ємне живлення.

Пакет розподіленого по площі живлення використовується для моделювання поповнення запасів підземних вод, як за рахунок інфільтраційного живлення атмосферними водами, так і надходження на поверхню підземних вод притоку з інших джерел площинного характеру. В чисельній моделі пакет вимагає двовимірному масиву значень живлення для кожного блоку сітки в горизонтальній площині і додатково двовимірному масиву для розрахункового шару, де поповнення буде застосовуватися для кожного блоку сітки в горизонтальній площині.

За замовчуванням інфільтраційне живлення в пакеті витрат застосовується до самого верхнього активного (водонасиченого) шару моделі в межах кожного вертикального стовпа розрахункових блоків сітки.

Пакет випаровування моделює ефект транспірації рослин, прямого випаровування і просочування на поверхню землі. Для роботи пакета потрібна інформація щодо величини евапотранспірації і глибини залягання рівня ґрунтових вод, нижче якої випаровування незначне.

Пакет заснований на наступних положеннях: коли рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні або вище поверхні землі (у верхній частині шару 1), витра-

та від випаровування ґрунтових вод відбувається при максимальній встановленій величині випаровування; при висоті рівня ґрунтових вод нижче глибини можливого випаровування, або під шаром 1, випаровування з поверхні ґрунтових вод відсутнє.

Для врахування впливу поверхневих водних об'єктів на підземні води в чисельній моделі використовується пакет, який дозволяє реалізовувати в розрахунковій схемі модельованої області роботу граничної умови третього роду. Поверхневі водні об'єкти можуть або сприяти поповненню запасів води в загальній системі підземних вод, не виступаючи в якості зон розвантаження останніх (в залежності від гідравлічного градієнта між поверхнею води в річках і в системі підземних вод), або виступати в якості контурів дренажу підземних вод на ділянці їх гідравлічного взаємозв'язку.

Пакет враховує взаємодію в системі "поверхневі води – підземні води" за рахунок просочування води через шар, що розділяє поверхневий водотік і систему підземних вод. Для роботи пакета в кожному блоці сітки, що містить дану граничну умову, повинна бути задана наступна інформація: відмітка вільної поверхні води в річці; відмітка нижньої частини шару просочування (підруслових відкладень), і числовий параметр провідності, який представляє собою опір потоку між поверхневими і підземними водами через розділяючий шар підруслових відкладень.

Значення провідності може бути розраховане за протяжністю і шириною річки в розрахунковому блоці, потужністю підруслових відкладень і вертикальною провідністю матеріалу русла з використанням наступної формули:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (4.5)$$

де C – провідність, (L^2/T); L і W – відповідно протяжність і ширина річки в розрахунковому блоці, (L); M – потужність підруслових відкладень, (L); K – вертикальна гідравлічна провідність матеріалу русла (L/T).

Завдання граничних умов на контурі модельованої області у випадку значного віддалення реальних джерел живлення і/або розвантаження від контурів

досліджуваної ділянки (об'єкта) реалізовано в пакеті, який моделює віддалену границю із забезпеченим живленням ($H = Const$). Потік в/із розрахунковий блок від зовнішнього джерела встановлюється пропорційно різниці між напорами в блоці на зовнішньому контурі моделі і напором на контурі забезпеченого живлення і відстані між ними.

Застосування цієї граничної умови доцільно у тому випадку, коли необхідно уникнути зайвого розширення досліджуваної області для досягнення її контурами елементів, які розташовані поза межами моделі і впливають на напори в розрахункових блоках.

Вплив віддаленої границі із забезпеченим живленням на напори в блоках модельованої області враховується завданням на її контурі величини гідравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D} \quad (4.6)$$

де $L \cdot W$ – площа переріза потоку в блоці на зовнішньому контурі модельованої області, (L^2); K – середня гідравлічна провідність водоносного шару в інтервалі між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L/T); D – відстань між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L).

Пакет дренажу в чисельній моделі використовується для врахування ефекту контурного або площинного водозниження, в результаті якого із водоносного шару видаляється вода у кількості, пропорційній різниці між відміткою рівня води у водоносному горизонті і деякою фіксованою відміткою в межах контуру (площі) водозниження. Пакет підтримує тільки можливість відтоку і його робота не має ніякого ефекту, якщо рівень води у водоносному горизонті знижується нижче заданої фіксованої відмітки на контурі стоку.

Для роботи пакета в якості вихідних даних для кожного блоку, який містить цю граничну умову, потрібна наступна інформація: відмітки вільної поверхні води по контуру або площі дрени (при потужності потоку на контурі дронування, що забезпечує відтік води), провідність на ділянці відтоку, що описує втрати напору між контуром дронування і системою підземних вод.

Провідність, як числовий параметр, що відображує опір потоку між контуром дренавання і системою підземних вод, розраховується за формулами:

- для провідності на одиницю довжини

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (4.7)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (4.8)$$

де $COND$ – провідність, (L^2/T), $RCHLNG$ – довжина контуру дренавання в кожному осередку сітки, (L); $LCOND$ – провідність на одиницю довжини контуру дренавання в кожному блоці сітки, (L/T); DX – довжина блоку сітки в X -напрямку, (L); DY – довжина блоку сітки в Y -напрямку, (L); $SCOND$ – провідність на одиницю площі дренавання в кожному блоці сітки, ($1/T$).

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:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left(\frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (4.9)$$

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

4.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

Розрахункова схематизація досліджуваної території виконана відповідно до особливостей геологічної будови, характеру залягання водовмісних порід і

водотривких порід, їх гідродинамічних характеристик, наявності гідравлічного взаємозв'язку між підземними і поверхневими водами, характеру живлення і розвантаження водоносних горизонтів як за площею, так і на їх контурах.

Основним об'єктом дослідження є геофільтраційні процеси в обводненому масиві алювіальних відкладень на ділянці проєктованих нового русла р. Інгулець і протифільтраційної завіси зі сторони північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" та прогностичні величини водопритоків, що формуються до кар'єру.

4.2.1 Граничні умови і розрахункові параметри моделі

Границі модельованої території встановлені у відповідності до положення контуру дренажу в межах північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК", існуючого та проєктованого русел р. Інгулець з відсічними перемичками та протифільтраційної завіси з її подовженням. При визначенні розмірів модельованої області до уваги приймалась необхідність визначення умов формування кар'єрних водопритоків на ділянці розташування порідного відвалу № 3.

З урахуванням просторового положення вказаних елементів 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. 4.1).

Для детального відображення конфігурації існуючого та нового русел р. Інгулець, контуру північно-східного борту кар'єру та протифільтраційної завіси, а також гіпсометрії поверхонь породних шарів і рівнів води в алювіальному горизонті, модельована область представлена сіткою розрахункових блоків розмірами 25,0 x 25,0 м.

Структура моделі у відповідності до наявності складованих у відвал № 3 порід, геолого-літологічної будови водовмісних відкладень алювіального водоносного горизонту, в підшві яких залягають водотривкі глини київського яру-

су та відклади бучацького ярусу, представлена восьмишаровою товщею. Її нижнім шаром згідно геологічної будови досліджуваної території є тріщинувата зона рудовмісного кристалічного масиву (рис. 4.2, 4.3).

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

- 1 шар (слабоводоносний) – складовані у порідний відвал № 3 окислені та напівокислені джеспіліти і скельні розкривні породи, приурочені до північно-східної ділянки модельованої області, потужністю від 0,0 до 54,7 м;

- 2 шар (слабоводоносний) – насипні ґрунти, алювіальні і лесовидні суглинки і супіски ПГЕ-1...10, приурочені до верхньої частини розрізу; для цих ґрунтів характерне досить невтримане залягання, часте вклинювання або залягання у вигляді лінз, сумарна потужність ґрунтів змінюється від 0,4 до 16,2 м;

- 3 шар (водоносний) – піски мілкі ПГЕ-11 потужністю від 0,5 до 14,7 м, залягають на абсолютних відмітках 15,30...42,00 м; в межах досліджуваної території розповсюджені практично повсюдно;

- 4 шар (водотривкий) – глини піщанисті ПГЕ-12, потужністю від 0,3 до 5,5 м, залягають лінзоподібно на абсолютних відмітках 13,60...28,70 м;

- 5 шар (водоносний) – піски різнозернисті, зі щебенем різного розміру кварцу та міцних кристалічних порід, галькою і гравієм ПГЕ-13, розповсюджені в межах досліджуваної ділянки на абсолютних відмітках 12,60...28,40 м, мають потужність, яка змінюється від 0,8 до 16,3 м, іноді виклинюються;

- 6 шар (водотривкий) – глини алевритові київського ярусу палеогену ПГЕ-14; до розвіданої глибини розкриті практично повсюдно, залягають на абсолютних відмітках –6,00...33,16 м, розкрита потужність до 34,3 м;

- 7 шар (слабоводоносний) – глини вуглисті, щільні ПГЕ-15, з бурим вугіллям і прошарками піску, загальна потужність від 1,5 до 22,5 м;

- 8 шар (водотривкий) – сланці вивітрілі ПГЕ-16, зруйновані до глинистого стану, тверді.

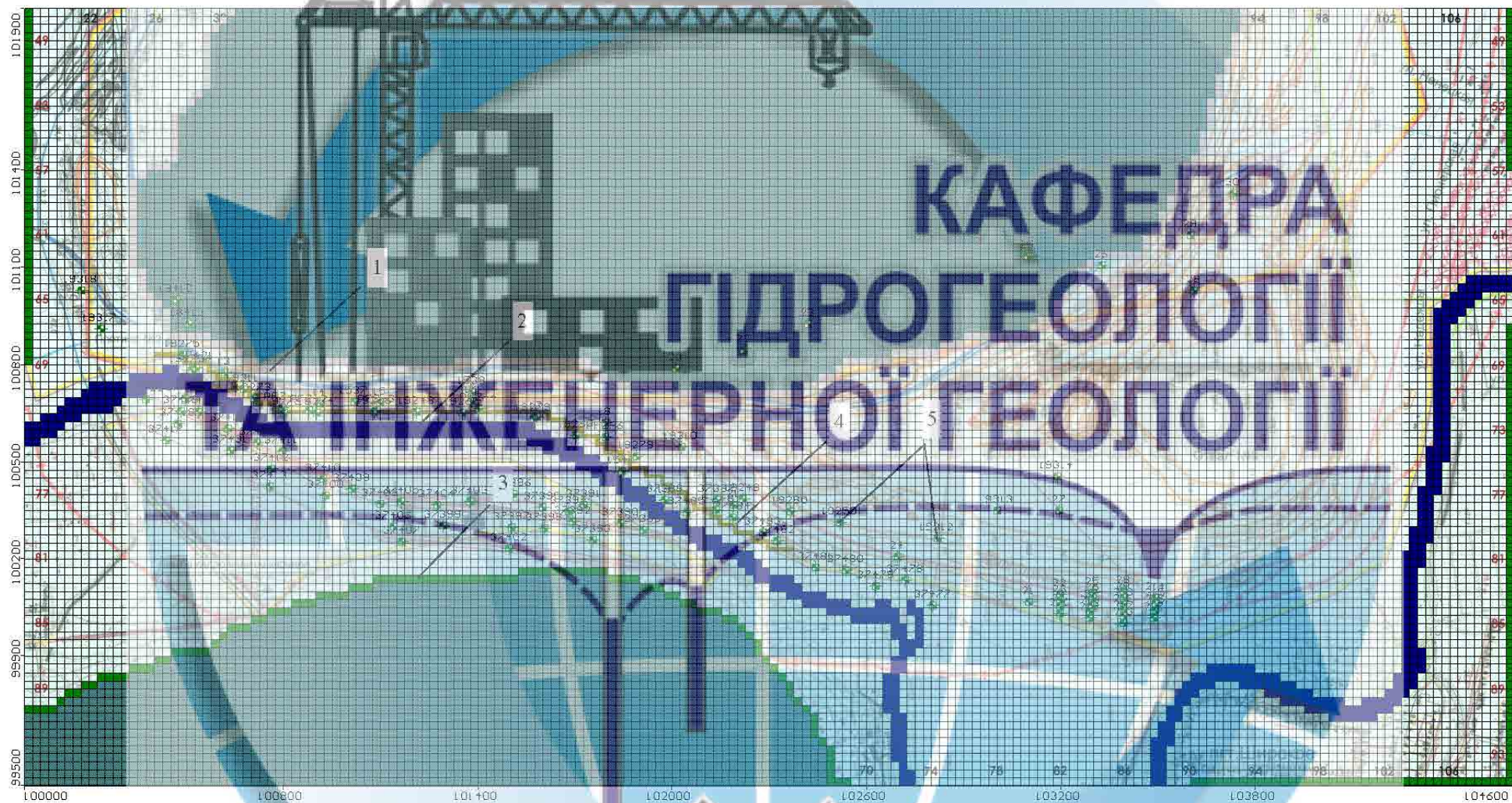


Рисунок 4.1 – Кінцево-різницева дискретизація модельованої області: 1 – контур східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2 – існуюче русло річки Інгулець; 3 – зовнішні гідродинамічні границі з граничною умовою третього роду; 4 – існуюча протифільтраційна завіса; 5 – розвідувальні свердловини ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ" і спостережні свердловини ПРАТ "ІНГЗК"

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

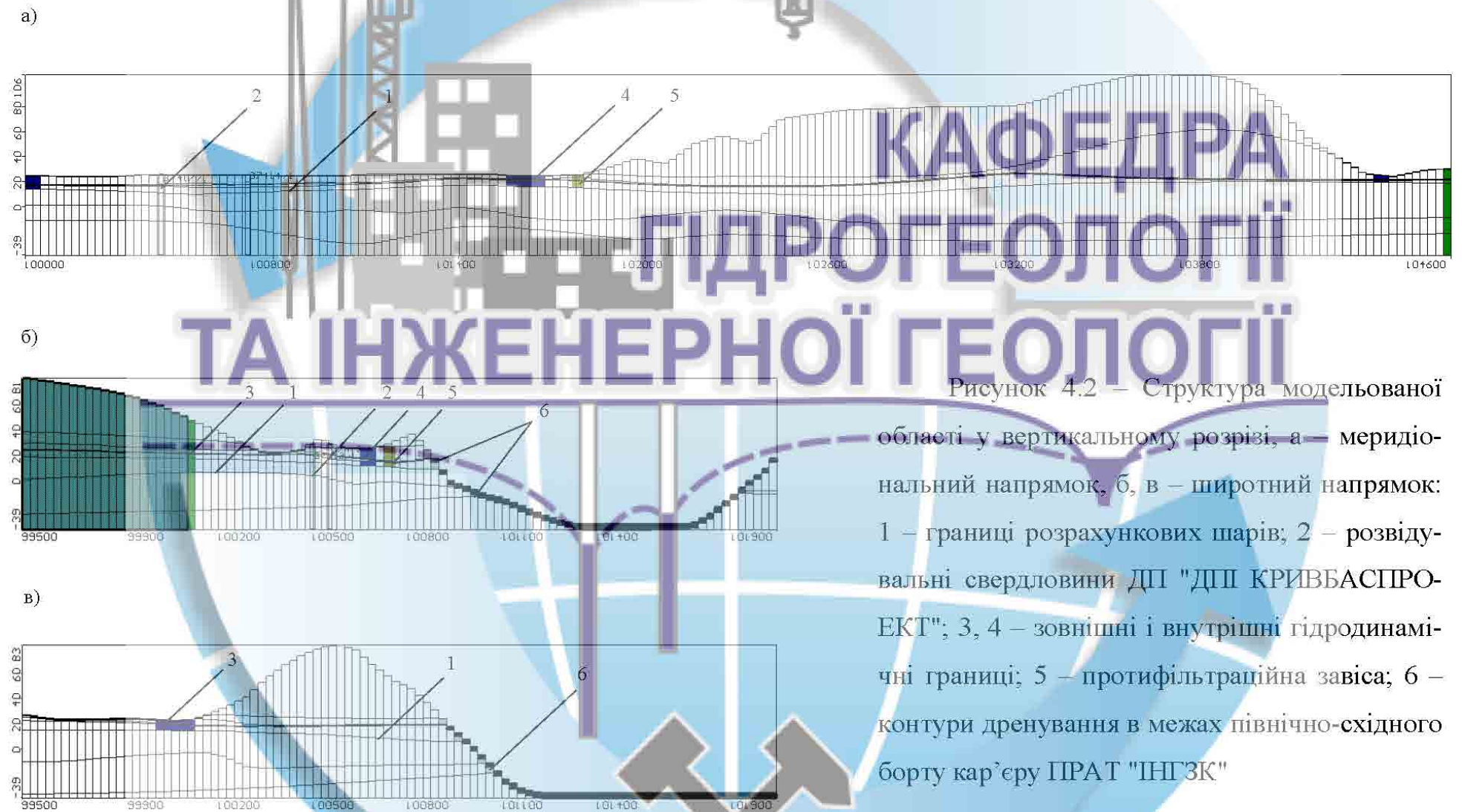


Рисунок 4.2 – Структура модельованої області у вертикальному розрізі, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – границі розрахункових шарів; 2 – розвідувальні свердловини ДП "ДП КРИВБАСПРОЕКТ"; 3, 4 – зовнішні і внутрішні гідродинамічні границі; 5 – протифільтраційна завіса; 6 – контури дренажування в межах північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"

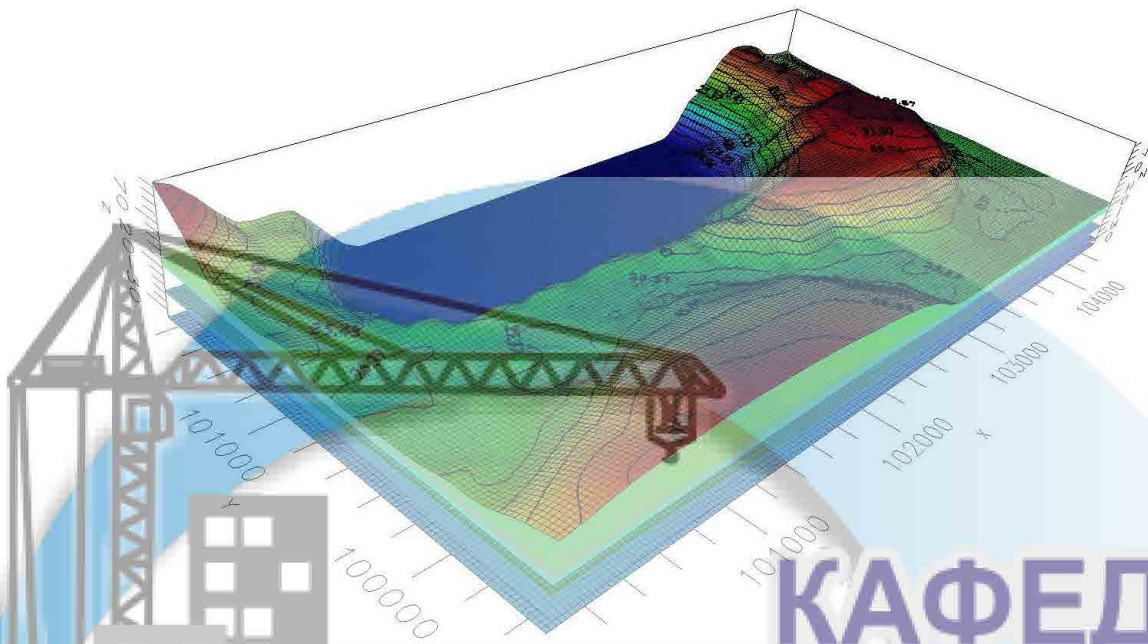


Рисунок 4.3 – Просторове представлення структури модельованої області в межах східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" і його північно-східної ділянки

При відтворенні структури модельованої області використані дані інженерно-геологічних вишукувань ДП "ДП КРИВБАСПРОЕКТ" на ділянці проєктованого нового русла р. Інгулець, буріння спостережних гідрогеологічних свердловин ПРАТ "ІНГЗК" по трасі існуючої протифільтраційної завіси, а також дані виконаних у різні роки досліджень [16,19,28,30,31,35,36].

Положення границь модельованих шарів у вертикальному розрізі порівняно з даними моделювання, наведеними в проміжному звіті [31], було уточнено за результатами аналізу наявних даних щодо залягання покрівлі алевритових глин (розрахунковий шар 6) та вирішення зворотних геофільтраційних задач. Так, за даними геологічної служби ПРАТ "ІНГЗК" положення покрівлі глин кийського 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 загальною гідродинамічною схемою досліджу-

ваної території (див. рис. 4.1 і 4.2).

Величини гідравлічних напорів на контурах моделі встановлені за даними розвідувального буріння у відповідності до відміток рівнів води в межах досліджуваних ділянок модельованої області, що пов'язано з визначальним впливом на її гідродинамічний режим особливостей геоморфологічної будови (табл. 4.1). Величини водопровідностей на зовнішніх контурах розрахункових шарів визначені виходячи з осереднених значень фільтраційних характеристик літологічних різностей в межах розрахункових ділянок модельованої області (див. табл. 4.1).

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

Таблиця 4.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах розрахункових шарів модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м ³ /доб
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 алевроитові	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

В умовах, що розглядаються, внутрішньою гідродинамічною границею моделі є річка 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 змінюється від 1,6 до 2,0 м, досягаючи на окремих ділянках 2,5 м.

Гідродинамічно річка Інгулець в чисельній моделі представлена границями третього роду, які враховують 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. 4.2).

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

Таблиця 4.2 – Параметри внутрішніх гідродинамічних границь модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підосви підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м ² /сут
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

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

Робота існуючої протифільтраційної завіси (ПФЗ) моделювалась завданням на відстані 25...50 м від західного урізу річки Інгулець слабопроникної "стінки", заглибленої вздовж всієї її довжини до покрівлі алевритових глин ПГЕ-

14 (розрахунковий шар 6). У відповідності з проектними параметрами протифільтраційної завіси її ширина встановлена рівною 0,7 м при значенні коефіцієнта фільтрації матеріалу завіси 0,05 м/добу.

При оцінці параметрів гідравлічної провідності для розрахункових шарів використані дані вишукувань, виконані інститутом ВІОГЕМ [16]. Для літологічних різностей, що складають алювіальний водоносний горизонт, величини коефіцієнтів фільтрації характеризуються наступними значеннями:

- суглинки піщаністі – 0,66 м/доб;
- лесовидні суглинки – 0,77 м/доб;
- піски пилуваті і мілкозерністі – 0,84 м/доб;
- супіски карбонатні – 0,8...1,16 м/доб;
- пісок глинистий – 0,8...7,4 м/доб;
- пісок мілко- і крупнозерністий – 6,9...19,2 м/доб.

Наведені значення не суперечать даним лабораторних визначень, виконаних при проведенні інженерно-геологічних вишукувань ДП "ДПІ "КРИВБАС-ПРОЕКТ" на ділянці проектованого будівництва протифільтраційної завіси [30]: значення коефіцієнтів фільтрації пісків мілких ПЕ-11 змінюються в межах 0,32...3,23 м/доб, пісків різнозернистих гравелистих ПЕ-13 – 4,07...15,7 м/доб. Для ПЕ-8, 12 середнє значення коефіцієнту фільтрації, встановлене за результатами одиночної відкачки, складає 0,20 м/доб.

Прийняті до розрахунку значення гідравлічних провідностей, які встановлені у відповідності до структури чисельної моделі і уточнені за результатами вирішення зворотних задач, наведені в таблиці 4.3.

Враховуючи значний розкид значень гідравлічної проникності водовмісних літологічних різностей, а також відсутність чітко вираженої зональності фільтраційних характеристик в межах розрахункових шарів, їх величини задані постійними в межах всієї площі розповсюдження модельованих шарів за виключенням шару 5, для якого встановлена зональність гідравлічної проникності у відповідності до характеристик різнозернистих пісків і наявності у їх складі гравію та щебеню кристалічних порід (рис. 4.4, 4.5).

Таблиця 4.3 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, K ($K_X = K_Y = K_Z$), м/доб	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 мілкі	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

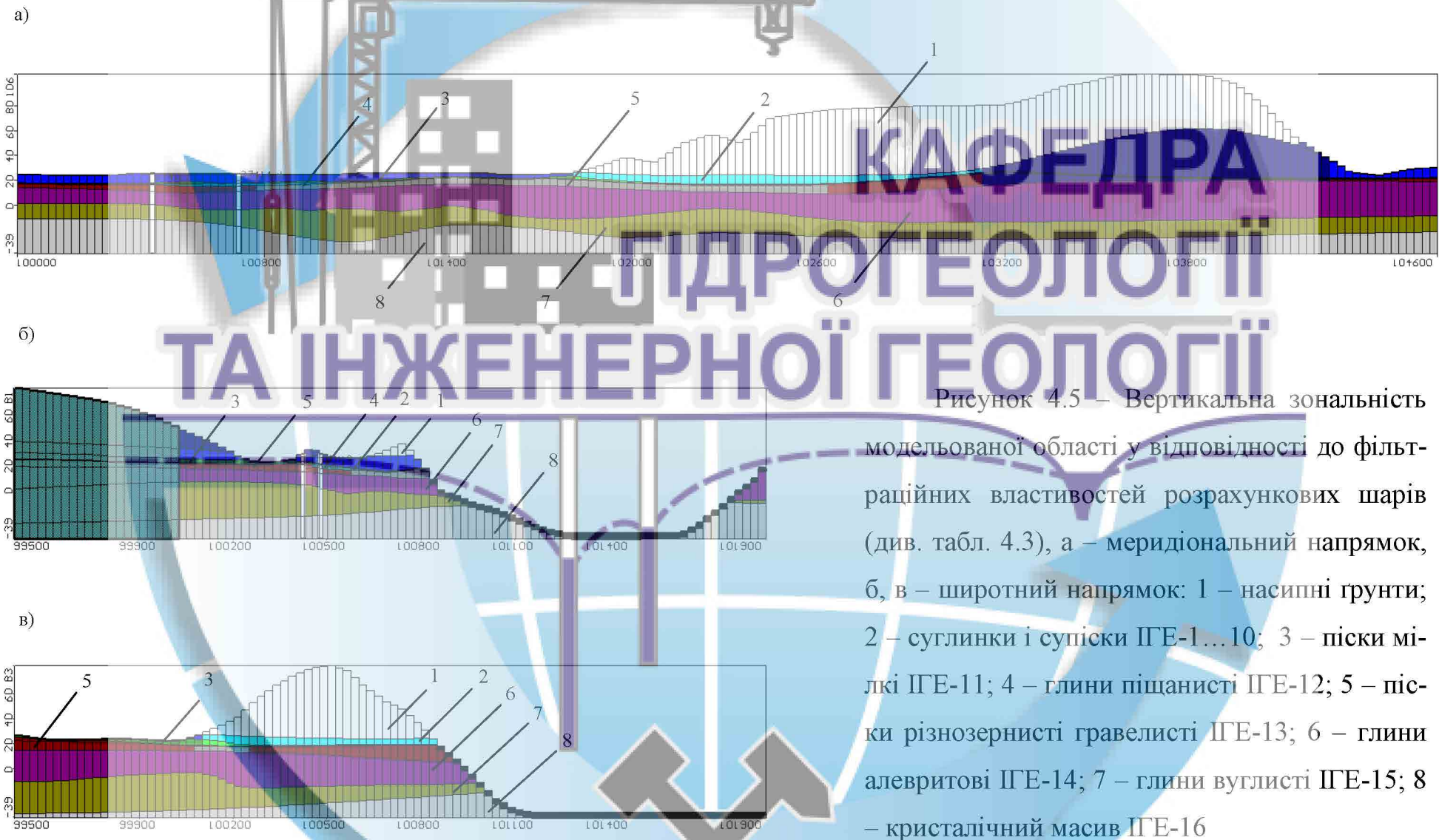
Крім того, зважаючи на можливу наявність в основі породного відвалу ущільненої слабопроникної товщі ґрунтів, безпосередньо в контурах відвалу в межах розрахункових шарів 2...3 задано знижене до 0,001 м/доб значення гідравлічної проникності.

При оцінці інфільтраційного живлення до уваги прийняті дані досліджень [4,5], виконаних на балансових станціях Причорноморського артезіанського басейну (Асканійська, Інгулецька, Шкодогорська, Казанська). 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 напів-окисленими джеспілітами і скельними розкривними породами, величина інфільтраційного живлення на етапі вирішення зворотних задач прийнята рівною 50



Рисунок 4.4 – Зональність гідравлічної проникності пісків різнозернистих зі щебенем різної крупності кварцу і кристалічних порід ПГЕ-13 (розрахунковий шар 5)



мм/рік – з урахуванням додаткового живлення згідно рекомендацій [10] для промислових територій гірничо-металургійного комплексу, з можливістю подальшого її корегування за умовою збіжності розрахункових і фактичних даних щодо рівневого режиму алювіального водоносного горизонту та кар'єрних водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру.

4.2.2 Ідентифікація чисельної геофільтраційної моделі

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

За результатами рішення зворотних задач встановлено, що досягнення розрахунковими рівнями води положення, близького до встановленого за даними виконаних в квітні-травні 2015 року інженерно-геологічних вишукувань, а також даними режимних спостережень за цей же період, відбувається при значеннях фільтраційних характеристик водовмісних і водотривких порід, наведених в таблиці 4.3.

Розрахункова поверхня підземних вод алювіального водоносного горизонту в межах досліджуваної території у відповідності до виконаної гідродинамічної схематизації на період інженерних вишукувань представлена на рис. 4.6, 4.7 і 4.8.

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 річки Інгулець, а розвантаження – шляхом дренажу водопроникних порід на контурі їх розкриття східним бортом кар'єру (табл. 4.4). При цьому в живленні алювіального горизонту, який знаходиться в зоні дренажного впливу кар'єру, переважає приток із річки Інгулець.

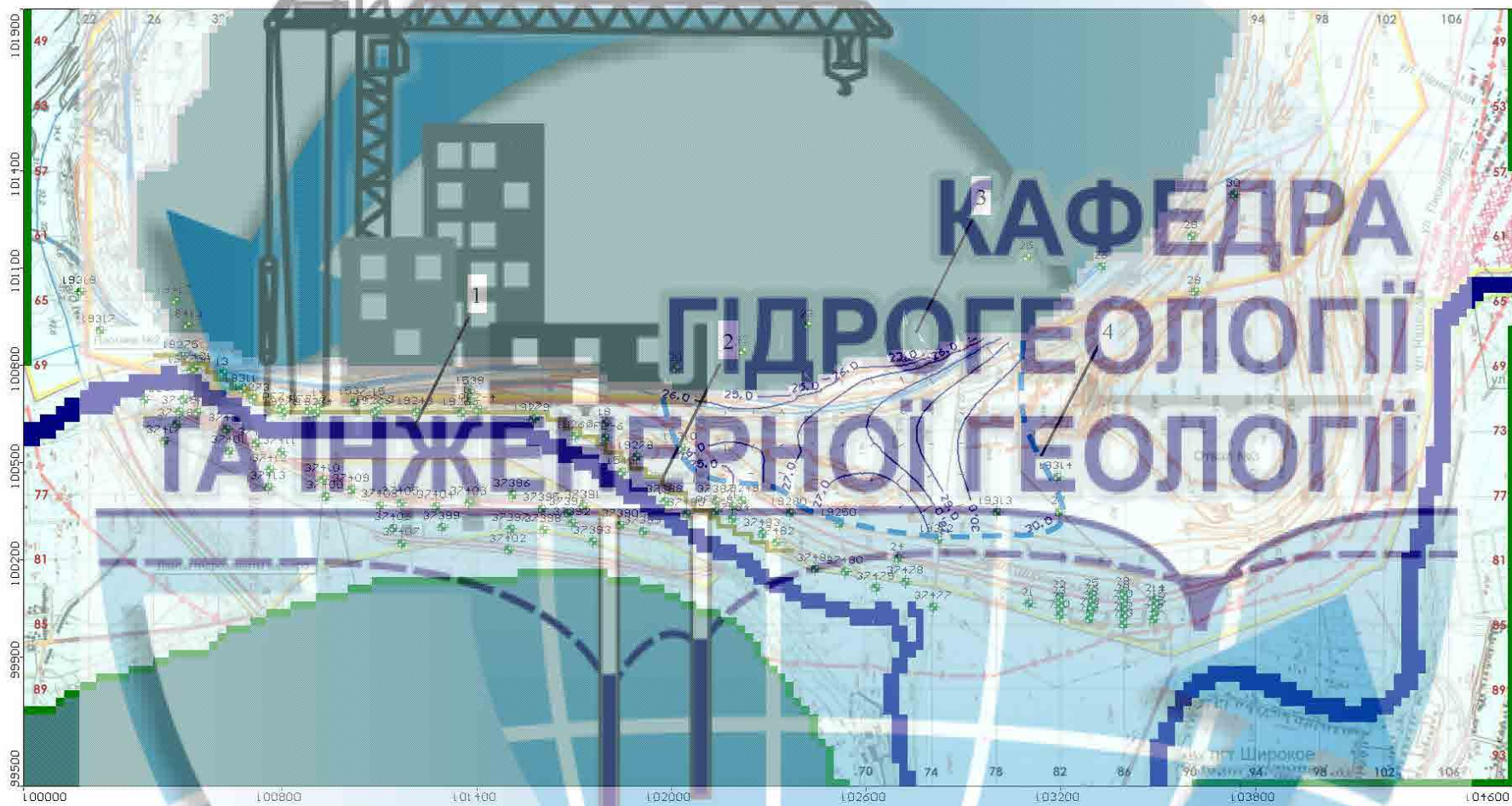


Рисунок 4.6 – Карта розрахункового положення рівневої поверхні обводненої зони порідного відвалу № 3 (розрахунковий шар 1) станом на квітень-травень 2015 року – епігноз, нестационарний режим фільтрації, м: 1 – існуюче положення русла річки Інгулець; 2 – протифільтраційна завіса; 3 – напрямок фільтраційного потоку; 4 – зона обводнення

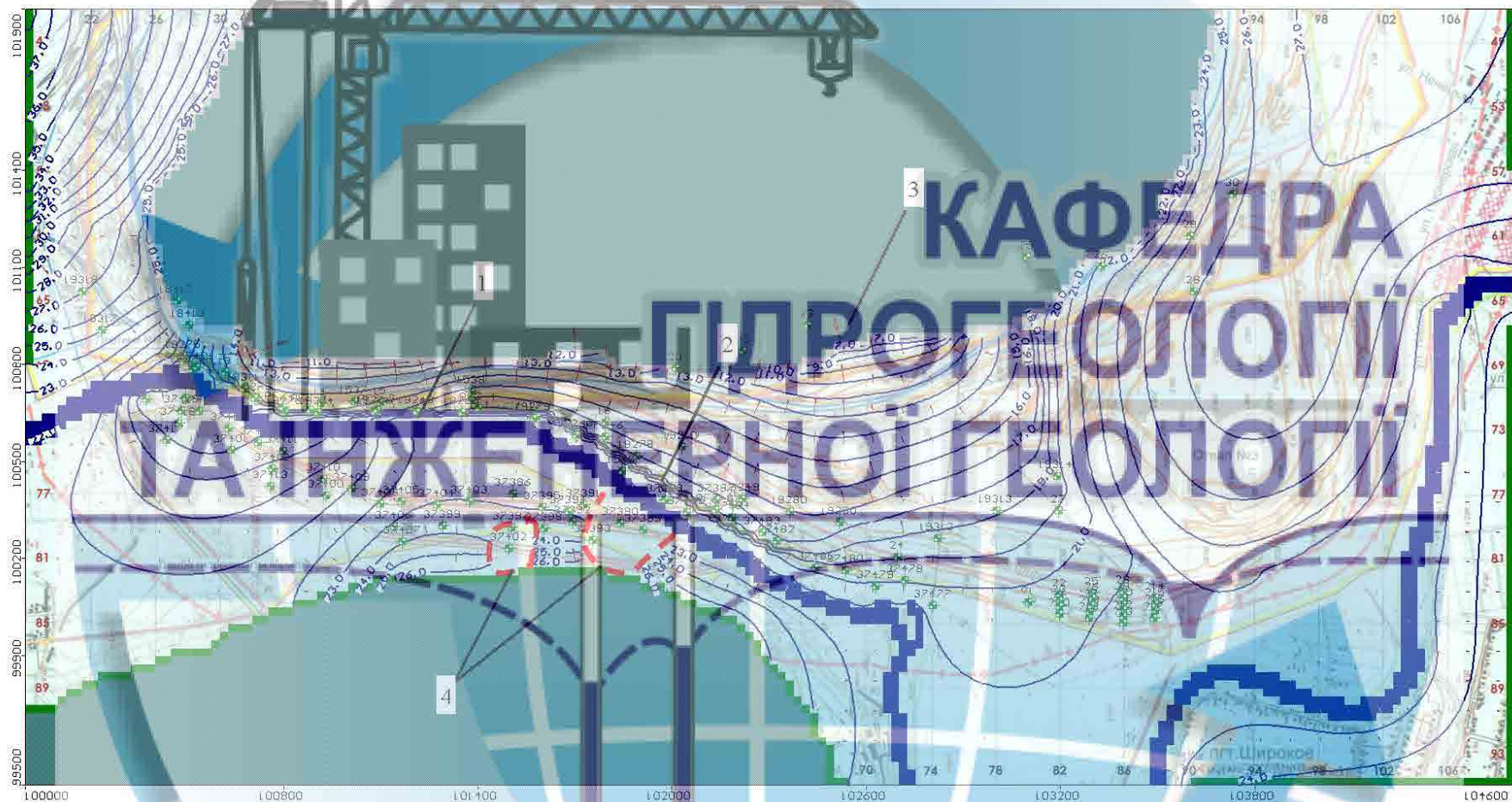


Рисунок 4.7 – Карта розрахункового положення рівневої поверхні підземних вод аллювіального горизонту (розрахунковий шар 5) станом на квітень-травень 2015 року – епігноз, нестационарний режим фільтрації, м: 1 – існуюче положення русла річки Інгулець; 2 – протифільтраційна завіса; 3 – напрямок фільтраційного потоку; 4 – зони осушення

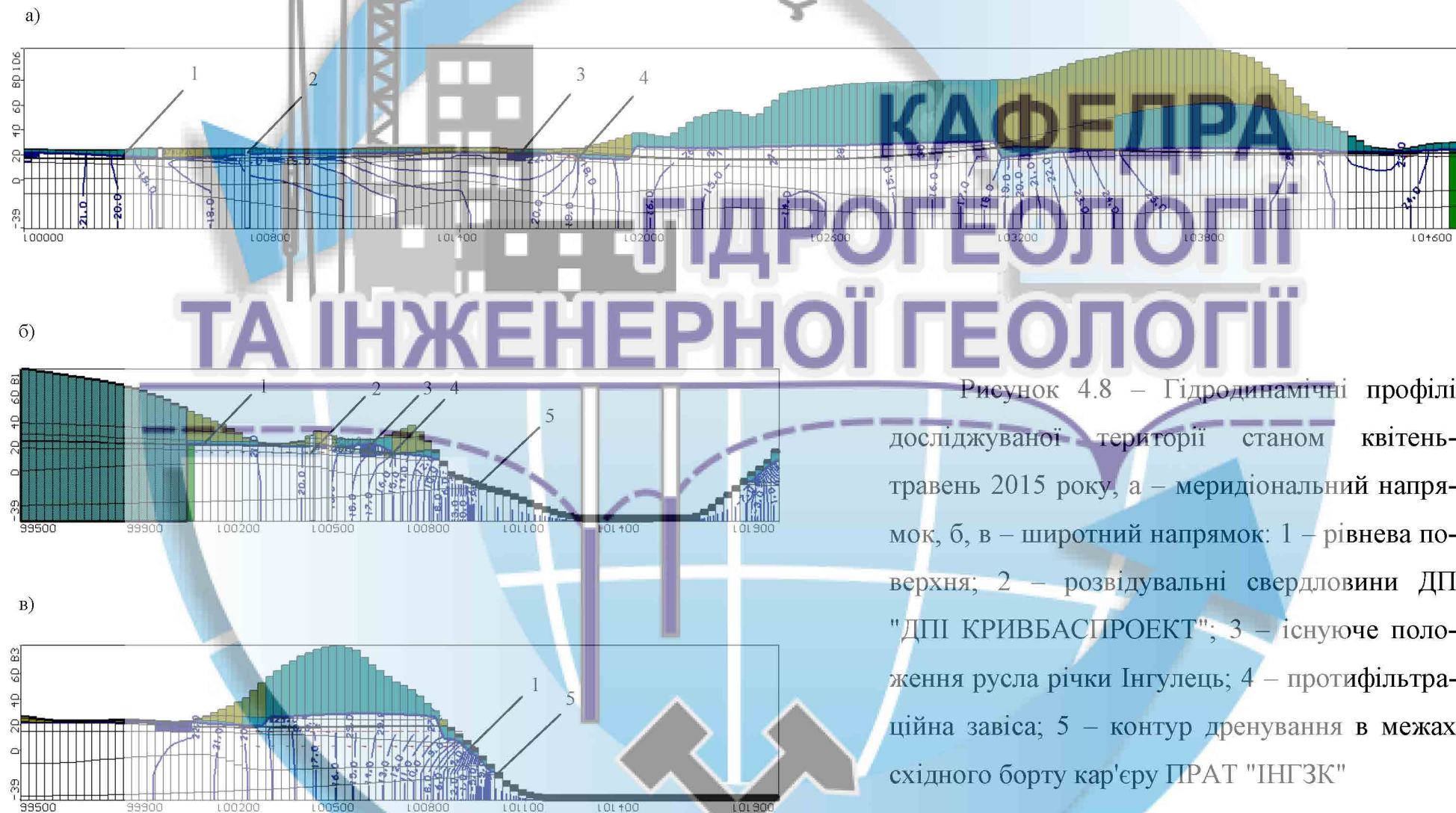


Рисунок 4.8 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території станом квітень-травень 2015 року, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – рівнева поверхня; 2 – розвідувальні свердловини ДП "ДПІ КРИВБАСПРОЕКТ"; 3 – існуюче положення русла річки Інгулець; 4 – протифільтраційна завіса; 5 – контур дренажу в межах східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"

Таблиця 4.4 – Балансові складові модельованої області за результатами вирішення епігнозної задачі, м³/доб

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	-	-3053,924
- у тому числі м.о. 26...90	-	-2374,918
Всього	4341,815	-4342,093
Похибка		-0,278
Нев'язка, %		-0,010

Згідно даним калібровки, виконаної за результатами рішення епігнозної задачі, відхилення розрахункових відміток рівнів води в алювіальному горизонті від фактично встановлених не перевищує 1,364 м (рис. 4.9). 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 %.

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.

4.3 Аналіз закономірностей формування водопритоків на ділянці північно-східного борту кар'єру

Згідно результатів виконаних розрахунків формування гідродинамічного режиму алювіального горизонту на досліджуваній території відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, бокового притоку зі сторони вододільних ділянок (східна границя модельованої області) та надходження поверхне-

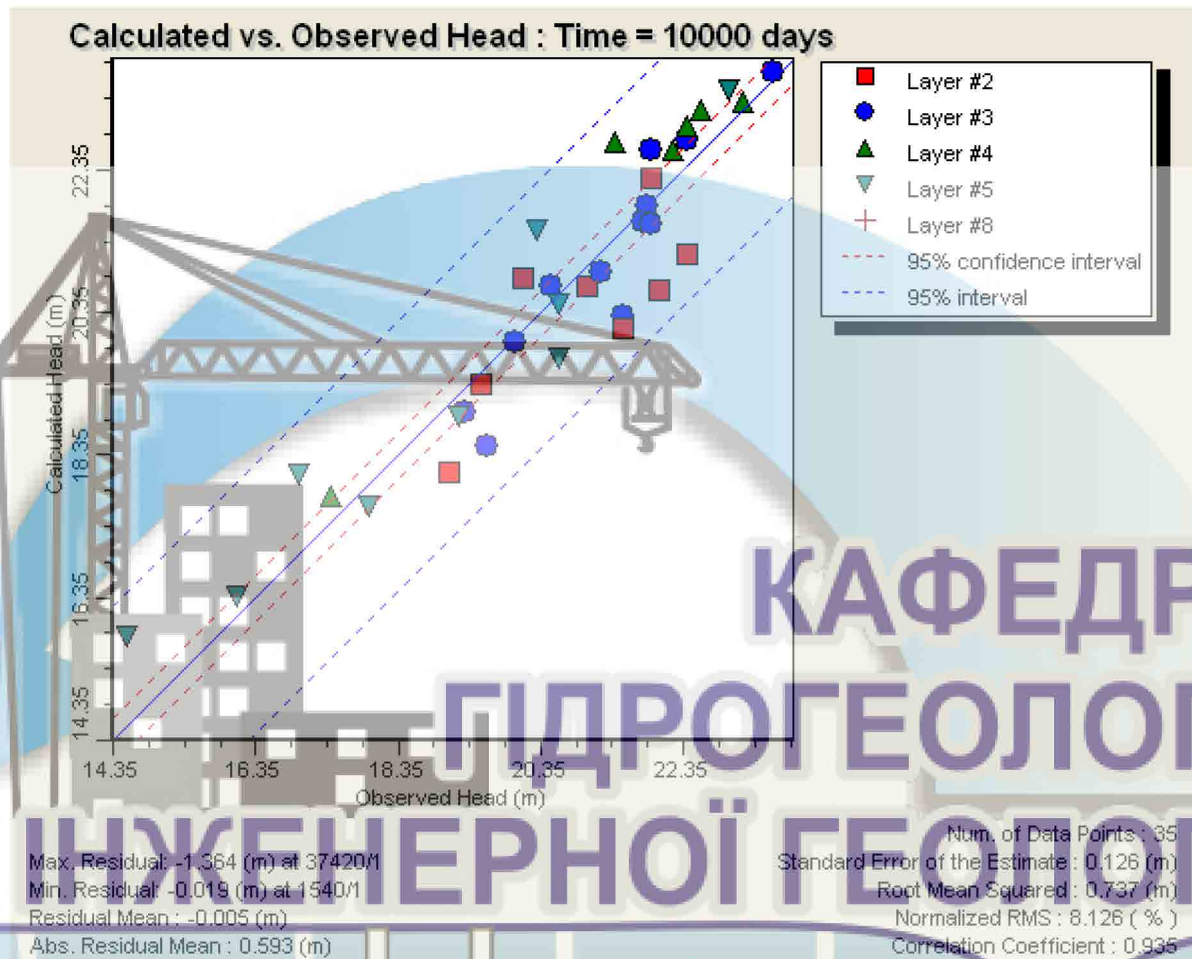


Рисунок 4.9 – Результати калібровки моделі станом на квітень-травень 2015 року – епігноз, нестационарний режим фільтрації, існуюче положення русла річки Інгулець

вих вод із річки Інгулець, а розвантаження – шляхом витоку із водопроникних порід на контурі їх дренавання в межах східного борту кар'єру (див. табл. 4.4).

При цьому, в живленні алювіального горизонту, що знаходиться безпосередньо в зоні дренажного впливу кар'єру, переважаюча роль належить фільтрації із річки 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 залізрудного кар'єру.

Згідно даним ПРАТ "ІНГЗК" сумарний водоприток до східного борту

кар'єру станом на 2015 р. досягав $90 \dots 120 \text{ м}^3/\text{год}$ або $2160 \dots 2880 \text{ м}^3/\text{доб}$. Отримана за даними епігнозного моделювання з урахуванням уточненого розрізу на границі кар'єру сумарна величина дренажного водовідбору для цього контуру складає $2374,9 \text{ м}^3/\text{доб}$ або $98,9 \text{ м}^3/\text{год}$, що свідчить про задовільну збіжність розрахункових величин з фактично встановленими за даними замірів в межах східного борту кар'єру. Враховуючи втрати через підшову алювіального горизонту на південній ділянці борту кар'єру на рівні $551,6 \text{ м}^3/\text{доб}$ ($22,9 \text{ м}^3/\text{год}$), сумарний розрахунковий приток до східного борту становить величину близько $121,8 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розподіл розрахункових величин водопритоків по контуру кар'єру характеризується їх відносною концентрацією в межах ділянок 30...42 ($831,29 \text{ м}^3/\text{доб}$), 50...58 ($436,87 \text{ м}^3/\text{доб}$) і 62...74 ($587,28 \text{ м}^3/\text{доб}$) маркшейдерських осей, положення яких співпадає з положенням відносних понижень рельєфу покривлі київських глин (табл. 4.5). Величини розрахункових водопритоків в межах виділених ділянок досягають величин $13,2 \text{ м}^3/\text{год}$ (м.о. 38...42) і $9,5 \dots 10,4 \text{ м}^3/\text{год}$ (м.о. 50...54, 66...70).

Значні водопритокі на ділянці 30...42 м.о. пов'язані з близьким розташуванням південної ділянки східного борту кар'єру до існуючого русла річки Інгулець. У відповідності до результатів моделювання сумарна величина водопритоків на цій ділянці складає $34,6 \text{ м}^3/\text{год}$, що погоджується з даними спостережень за фактичними водопритокама – візуально оцінена величина водопритоків в цих же осях знаходиться в межах $33,0 \dots 56,0 \text{ м}^3/\text{год}$.

Таблиця 4.5 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, $\text{м}^3/\text{доб}$			
		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

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /доб			
		Усього	Породний відвал	Алювіальні відклади	Бучацькі відклади
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

Для цієї ж ділянки характерна встановлена за результатами епігнозного моделювання наявність локальної зони низхідного розвантаження алювіального горизонту в тріщинувату зону підстилаючих корінних порід. Про це свідчать деформації рівневої поверхні алювіального горизонту, які приурочені до ділянок пониження покрівлі київських глин.

Порівняно невисокі розрахункові величини водопритоків в межах 58...90 маркшейдерських осей – 785,16 м³/доб (32,71 м³/год) пояснюються відносним віддаленням північної ділянки східного контуру кар'єру від русла річки Інгулець. Існуюча ситуація підтверджується даними фактичних спостережень – так, в межах маркшейдерських осей 50...70 водоприток на кінець квітня 2015 року не перевищував 21,30 м³/год. Встановлений на цей період водоприток зафіксований після ліквідації водопроявів на горизонті +12,0 (точка спостереження № 5, заміри 02.04.2015 р.) і зниження водопритоку на горизонті –30,0 (точка спостереження № 6, маркшейдерські осі 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 північно-східної ділянки борту діючого кар'єру на різні періоди відпрацювання залізрудного родовища свідчить про пряму залежність їх величин від гіпсометричного поло-

ження підошви 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 підошви гравелистих пісків, що залягають на київських глинах в межах північно-східного борту кар'єру.

Виконаний аналіз розподілу водопритоків в межах східного борту кар'єру, а також його північно-східної ділянки, вказує на залежність їх величин від гіпсометрії підошви гравелистих пісків, які залягають на еродованій поверхні київських глин, наявності та розповсюдження розділяючого водотривкого шару алювіальних глин (розрахунковий шар 4) в покрівлі гравелистих пісків (розрахунковий шар 5), гідравлічної проникності останніх на різних ділянках заплави річки Інгулець та рівня інфільтраційного живлення алювіального горизонту як в межах заплави, так і на ділянці розташування відвалу № 3.

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

При величині інфільтраційного живлення в межах порідного 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/доб (1,2 м³/год).

Для підтвердження характеру залягання покрівлі водотривких глин у підошві алювіального горизонту та існування в основі порідного відвалу водонасиченої зони техногенного горизонту проведений комплекс польових геофізичних досліджень у складі електричної томографії та аудіомгнітотелуричних зондувань, результати яких наведено в розділі 5.

5 ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ВЕЛИЧИН КАР'ЄРНИХ ВОДОПРИТОКІВ НА ДІЛЯНЦІ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО БОРТУ КАР'ЄРУ

5.1 Обґрунтування методики прогнозу, граничних умов та розрахункових параметрів геофільтраційної моделі

Прогнозна оцінка величин кар'єрних водопритоків та їх розподілу в межах східного борту кар'єру та його північно-східної ділянки виконана для умов будівництва нового русла р. Інгулець відповідно до його проектного положення з урахуванням перспективного розвитку гірничих робіт на період до 25 років [29].

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 проектованої протифільтраційної завіси 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 проектованої протифільтраційної завіси в умовах прогнозованого просування 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 бли-

зкий до стаціонарного режим фільтрації, за якого формування кар'єрних водопритоків в межах північно-східного борту кар'єру відбувається майже виключно за рахунок ресурсної складової – емнісна складова в загальному балансі моделі не перевищує 0,7% відсотка в об'ємі кар'єрних водопритоків (табл. 4.4).

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. 5.1). Його гідравлічні параметри як гідродинамічної границі, встановлені у відповідності до геометричних характеристик проектного русла, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Гідравлічні параметри ділянок існуючого і проектного нового русла р. Інгулець

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підшви підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м ² /доб
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 протифільтраційна завіса, закладення якої передбачається вздовж нового русла р. Інгулець (рис. 5.2). Робота проектованої протифільтраційної завіси в чисельній моделі забезпечувалась за рахунок знижених до 0,001 м/доб значень гідравлічної проникності на стінках розрахункових блоків моделі. Значення коефіцієнту фільтрації завіси прийнято виходячи із можливого застосування у якості матеріалу протифільтраційної завіси місцевого матеріалу – суглинків і глин.

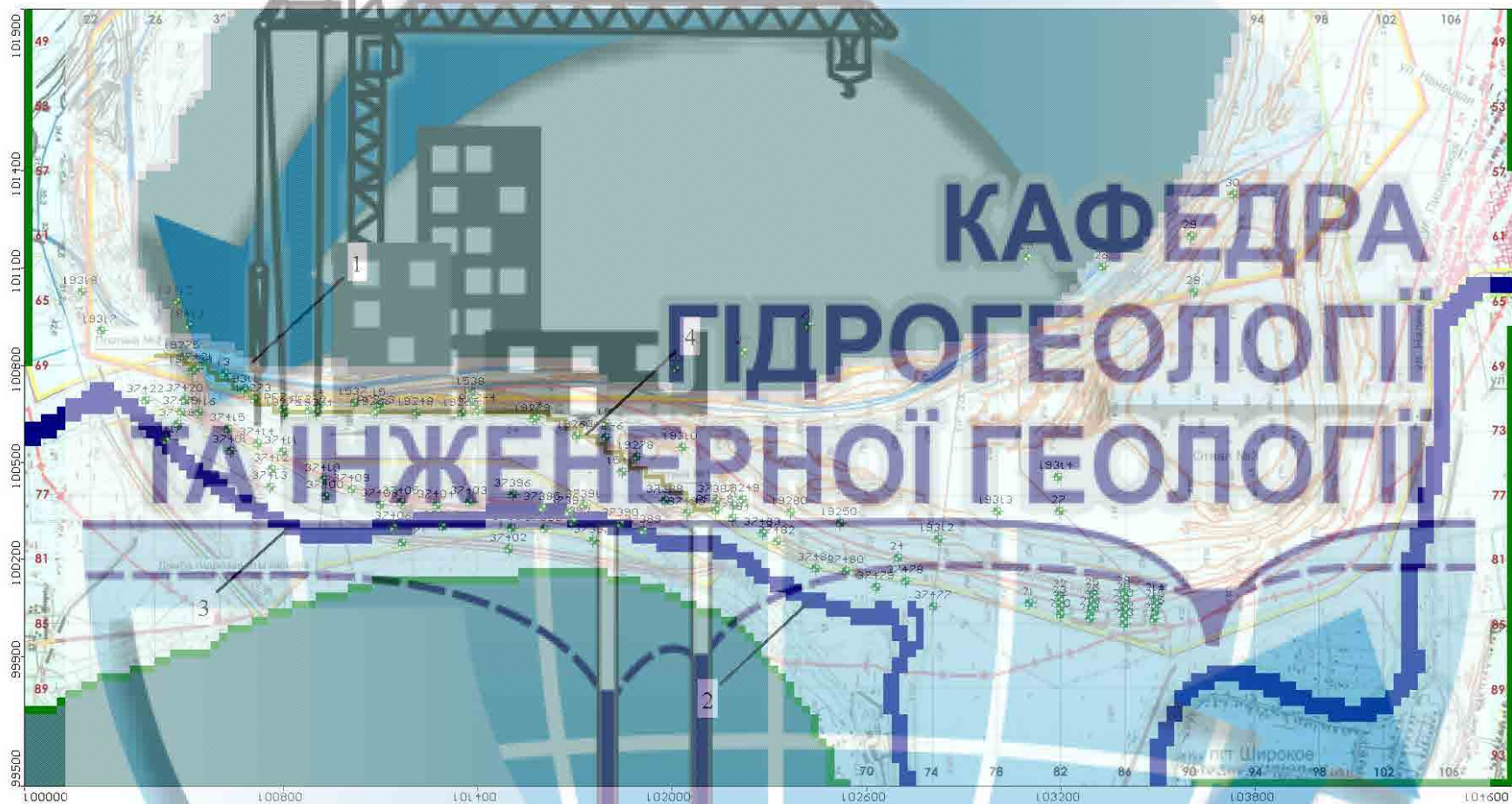


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема до прогнозу гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при будівництві нового русла р. Інгулець для умов існуючого положення контуру кар'єру: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса

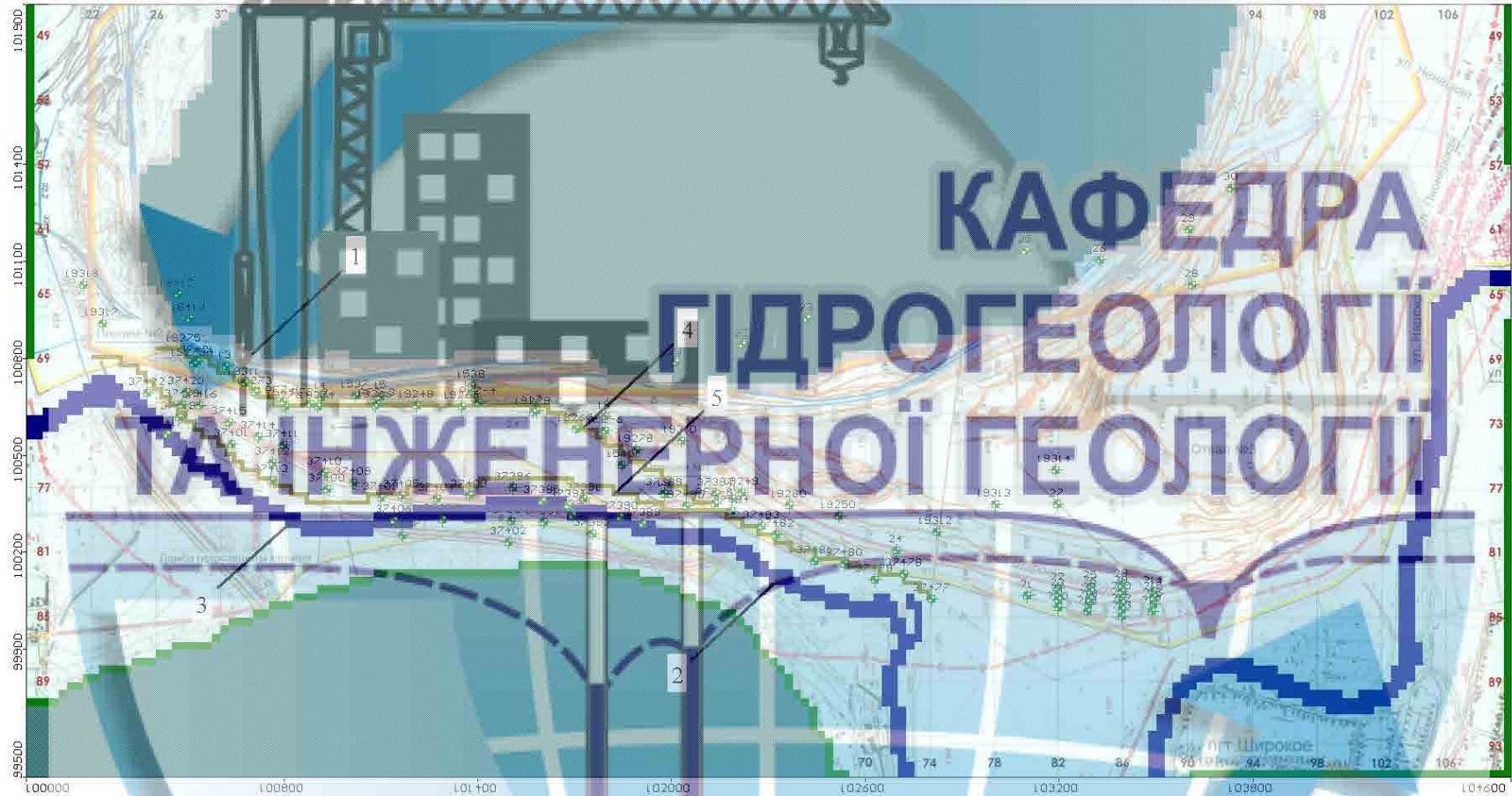


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема до оцінки ефективності проєктованої протифільтраційної завіси за умови будівництва нового русла р. Інгулець при існуючому положенні контуру кар'єру: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована протифільтраційні завіси

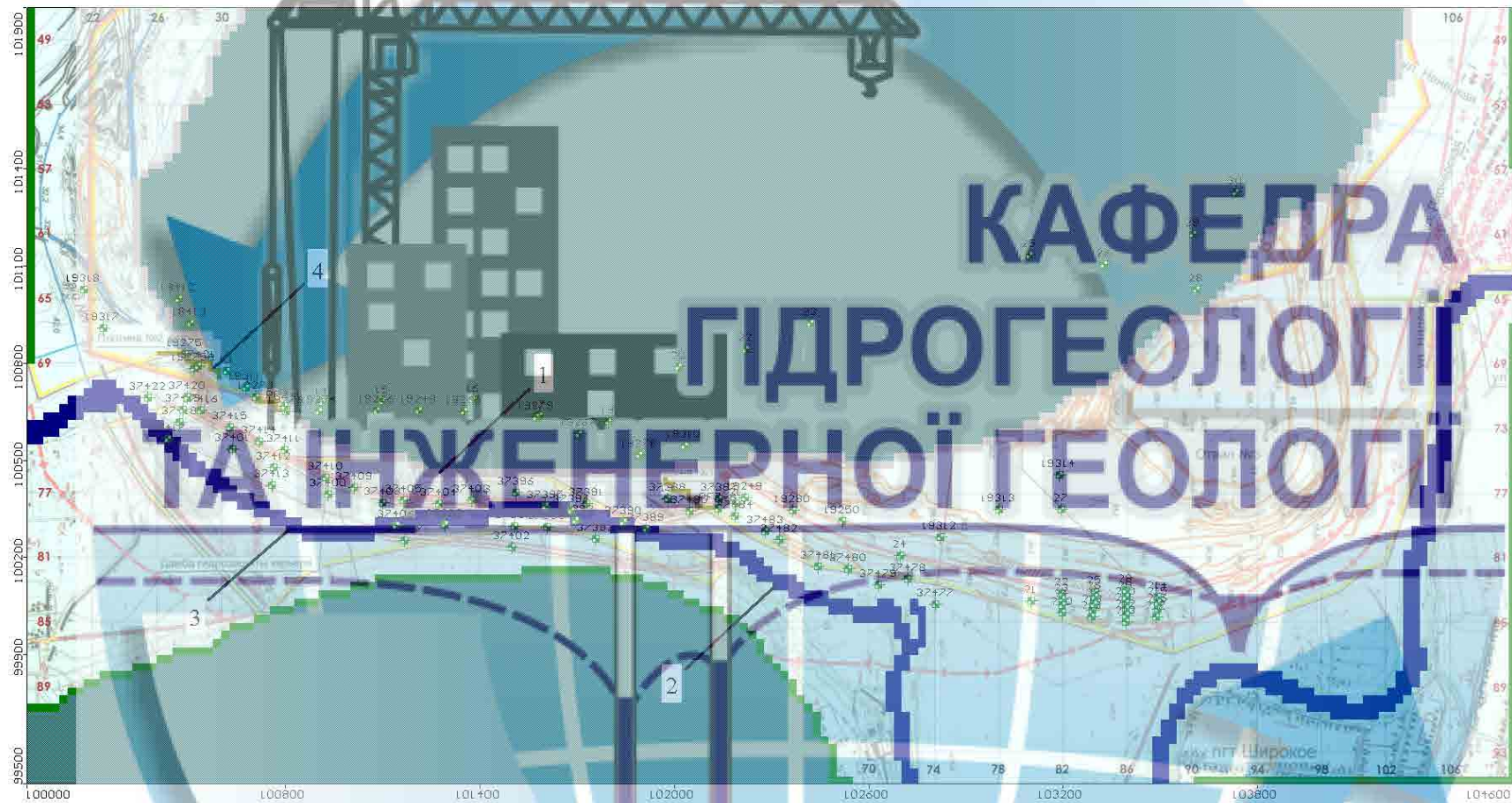


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема до прогнозу гідродинамічного режиму алювіального водоносного горизонту при прогнозованому просуванні контуру кар'єру (на період до 25 років) за умови спорудження нового русла р. Інгулець: 1 – очікуване положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса

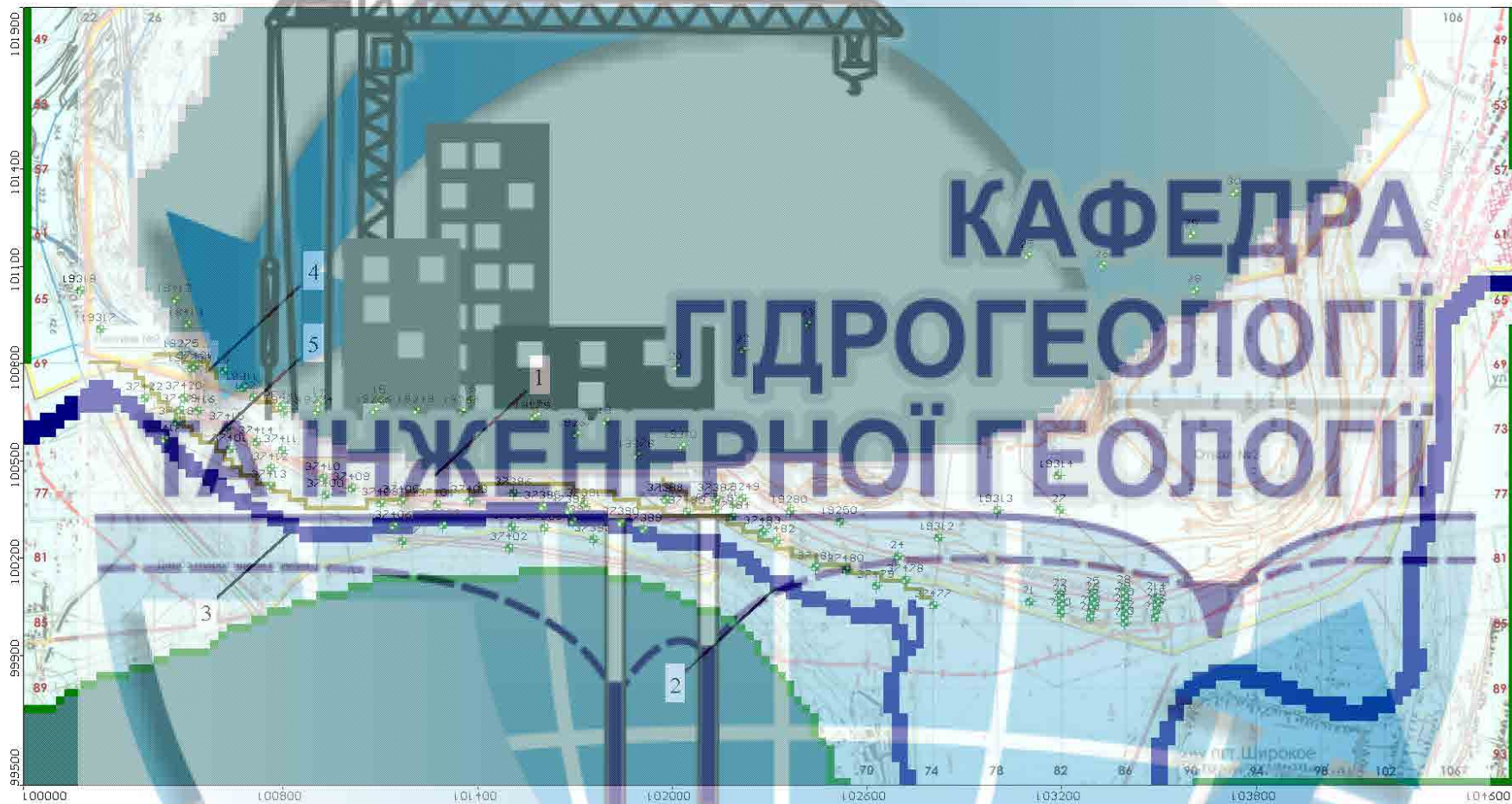


Рисунок 5.4 – Розрахункова схема до оцінки ефективності проектованої протифільтраційної завіси в умовах прогнозованого просування контуру кар'єру (на період до 25 років): 1 – очікуване положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване нове русло р. Інгuleць; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована протифільтраційні завіси

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 експлуатації кар'єру (рис. 5.3). 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 підшови алювіальних пісків на величину 0,9...1,0 м.

На цьому етапі дослідження умов формування кар'єрних водопритоків виконувалось як за умови відсутності нової протифільтраційної завіси на внутрішньому контурі нового русла р. Інгулець, так і при її закладенні з раніше заданою гідравлічною проникністю матеріалу завіси, рівною 0,001 м/доб (рис. 5.4).

5.2 Аналіз змін гідродинамічного режиму ділянки північно-східного борту кар'єру при спорудженні нового русла р. Інгулець

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 порідного відвалу № 3 і підземних вод алювіального водоносного горизонту, встановлені за результатами прогнозних розрахунків, наведені на рис. 5.5, 5.6 і 5.7.

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

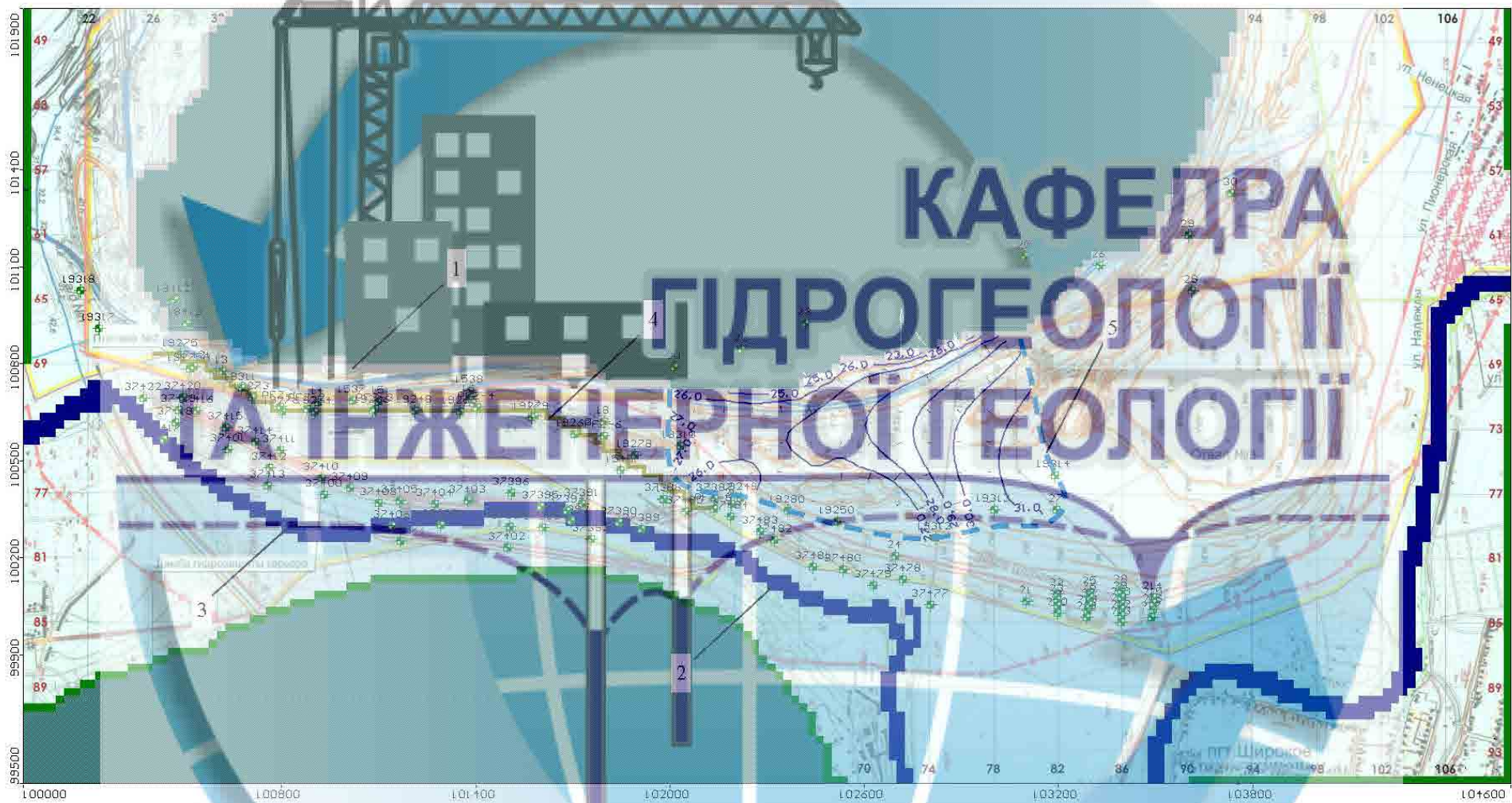


Рисунок 5.5 – Положення рівневої поверхні обводненої зони порідного відвалу № 3 (розрахунковий шар 1) при проєктованому положенні нового русла р. Інгулець: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГ'ЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса; 5 – зона обводнення

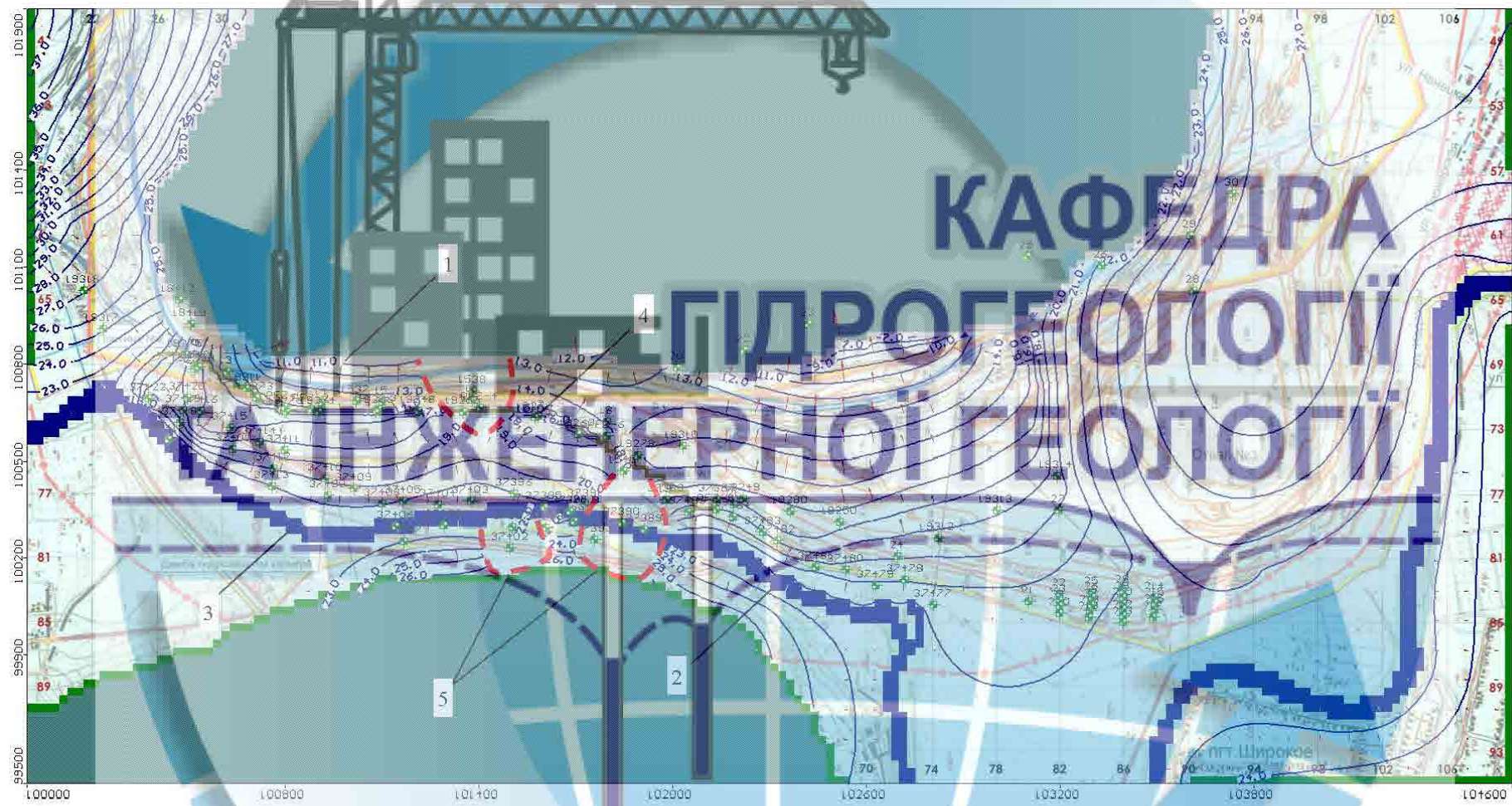


Рисунок 5.6 – Положення рівневої поверхні алювіального водоносного горизонту (розрахунковий шар 5) при проєктованому положенні нового русла р. Інгулець: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса; 5 – зони осушення



Рисунок 5.7 — Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проектового положення нового русла р. Інгулець, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване положення нового русла р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса

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 2374,96 м³/доб (див. табл. 4.4) до 1431,6 м³/доб або 59,6 м³/год (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Балансові складові модельованої області при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець, м³/доб

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

Збереження і навіть збільшення величини живлення алювіального горизонту за рахунок річкового стоку з 2245,4 до 2628,5 м³/доб в умовах, що розглядаються, пов'язано з впливом локальної зони низхідного розвантаження в алювіальному горизонті в м.о. 26...32, за рахунок чого відбувається перехоплення поверхневого стоку, який витрачається на формування водопритоків безпосередньо на контурі кар'єру

У загальному ж випадку величина кар'єрних водопритоків на досліджуваній ділянці, яка досягає в абсолютному вираженні 1431,6 м³/доб, 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 проектного будівництва нового русла р. Інгулець (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /доб			
		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
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

5.3 Прогнозна оцінка величин кар'єрних водопритоків в умовах проектного розвитку гірничих робіт

При розвитку гірничих робіт і просуванні контуру кар'єру у східному напрямку існуюча протифільтраційна завіса 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/доб або 72,3 м³/год в межах модельованої східної ділянки кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" (рис. 5.8, 5.9 і 5.10, табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Балансові складові модельованої області на ділянці проєктованого будівництва нового русла р. Інгулець при очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/доб

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/доб – в м.о. 58...74. Загальною ж особливістю формування водопритоків є відносно рівномірний їх розподіл в межах всього східного борту кар'єру (табл. 5.5).

Зменшення площі порідного 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/доб (див. табл. 5.5). 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 5.5 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/доб

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /доб			
		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/доб і 603,1 м³/доб.

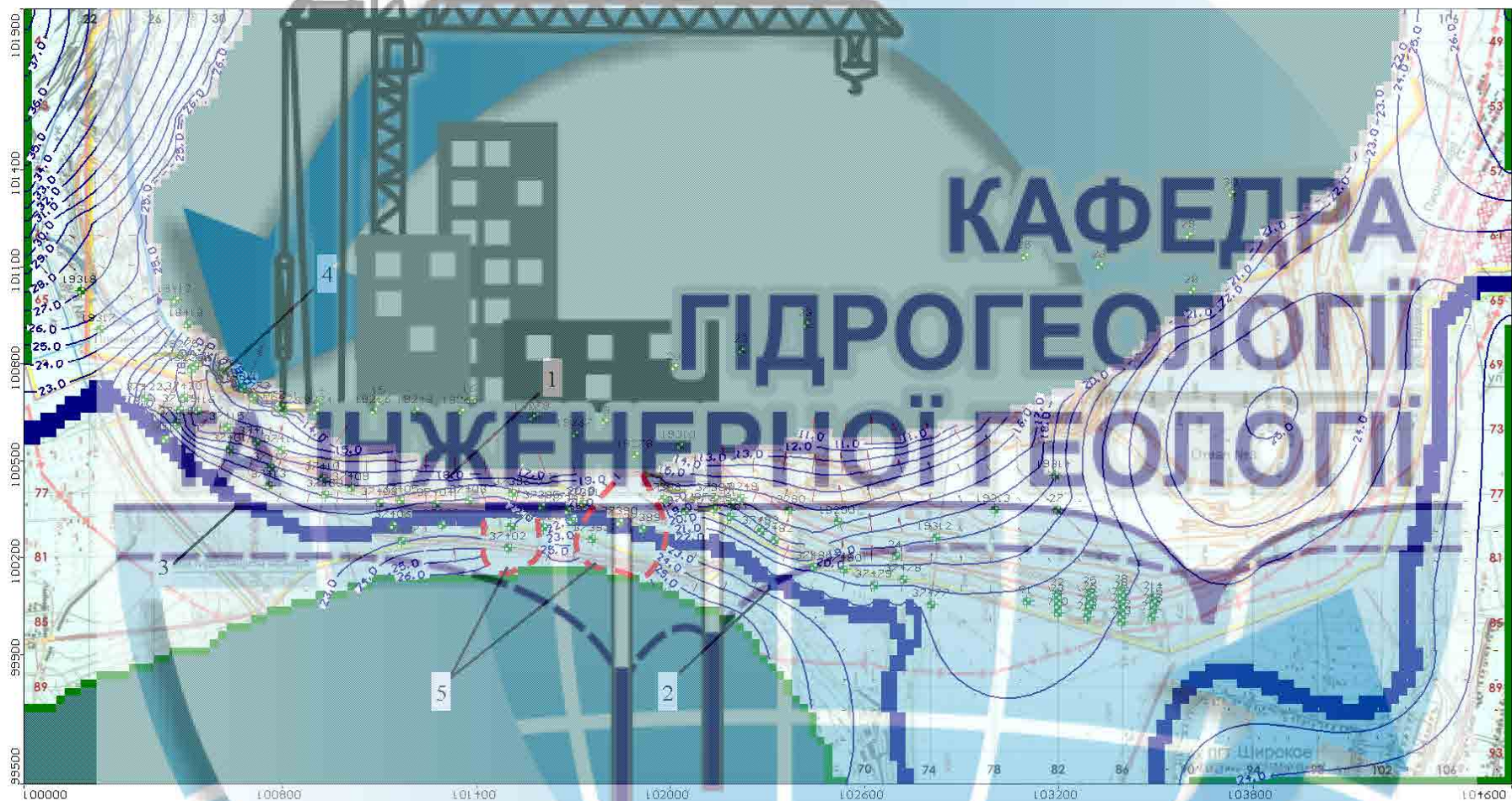


Рисунок 5.9 – Положення рівневої поверхні алювіального водоносного горизонту (розрахунковий шар 5) при проєктованому положенні нового русла р. Інгулець і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4 – існуюча протифільтраційна завіса; 5 – зони осушення



Рисунок 5.10 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проектного 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 проектоване положення нового русла р. Інгулець; 4 – протифільтраційна завіса

5.4 Аналіз ефективності протифільтраційної завіси на ділянці північно-східного борту кар'єру

Згідно прогнозним розрахункам додаткове зниження водопритоків, що формуються із алювіального горизонту за рахунок залучення поверхневого (річкового) стоку, забезпечується при спорудженні на західному контурі нового русла р. Інгулець протифільтраційної завіси із заглибленням її підосви в алевритові глини київського ярусу палеогену (рис. 5.11, 5.12 і 5.13).

За результатами моделювання встановлено, що при спорудженні протифільтраційної завіси шириною 0,7 м і гідравлічній проникності матеріалу завіси не вище 0,001 м/доб очікуваний водопріток 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. 5.6). Ефективність протифільтраційної завіси в умовах, що розглядаються, підтверджується формуванням зон осушення алювіального горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 34...70 (рис. 5.12, табл. 5.7)

Таблиця 5.6 – Балансові складові модельованої області в умовах існуючого положення східного борту кар'єру при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової протифільтраційної завіси, м³/доб

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

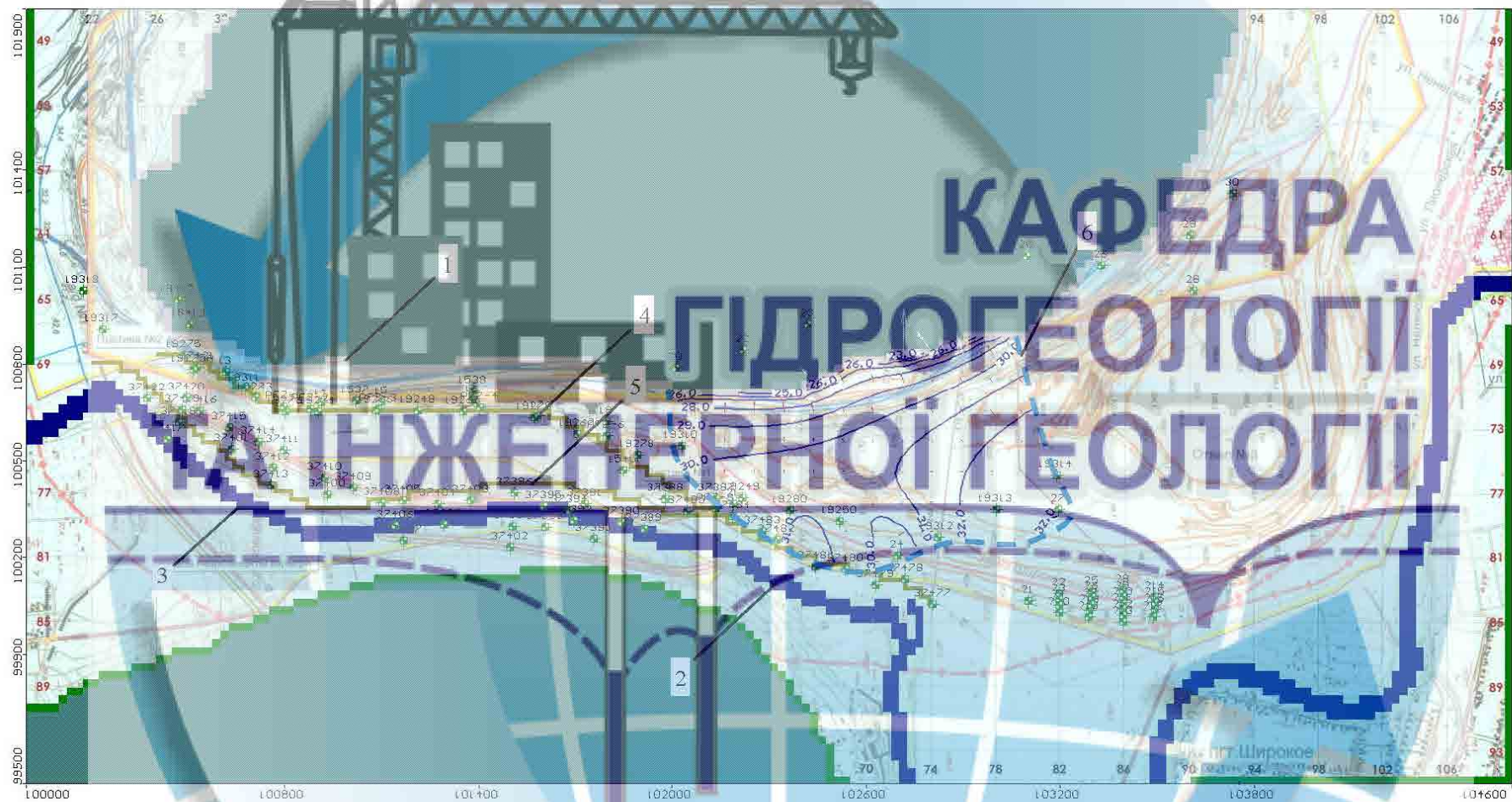


Рисунок 5.11 – Положення рівневої поверхні обводненої зони порідного відвалу № 3 (розрахунковий шар 1) при проєктованому положенні нового русла р. Ингулець і спорудженні нової ПФЗ: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Ингулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована протифільтраційні завіси; 6 – зона обводнення

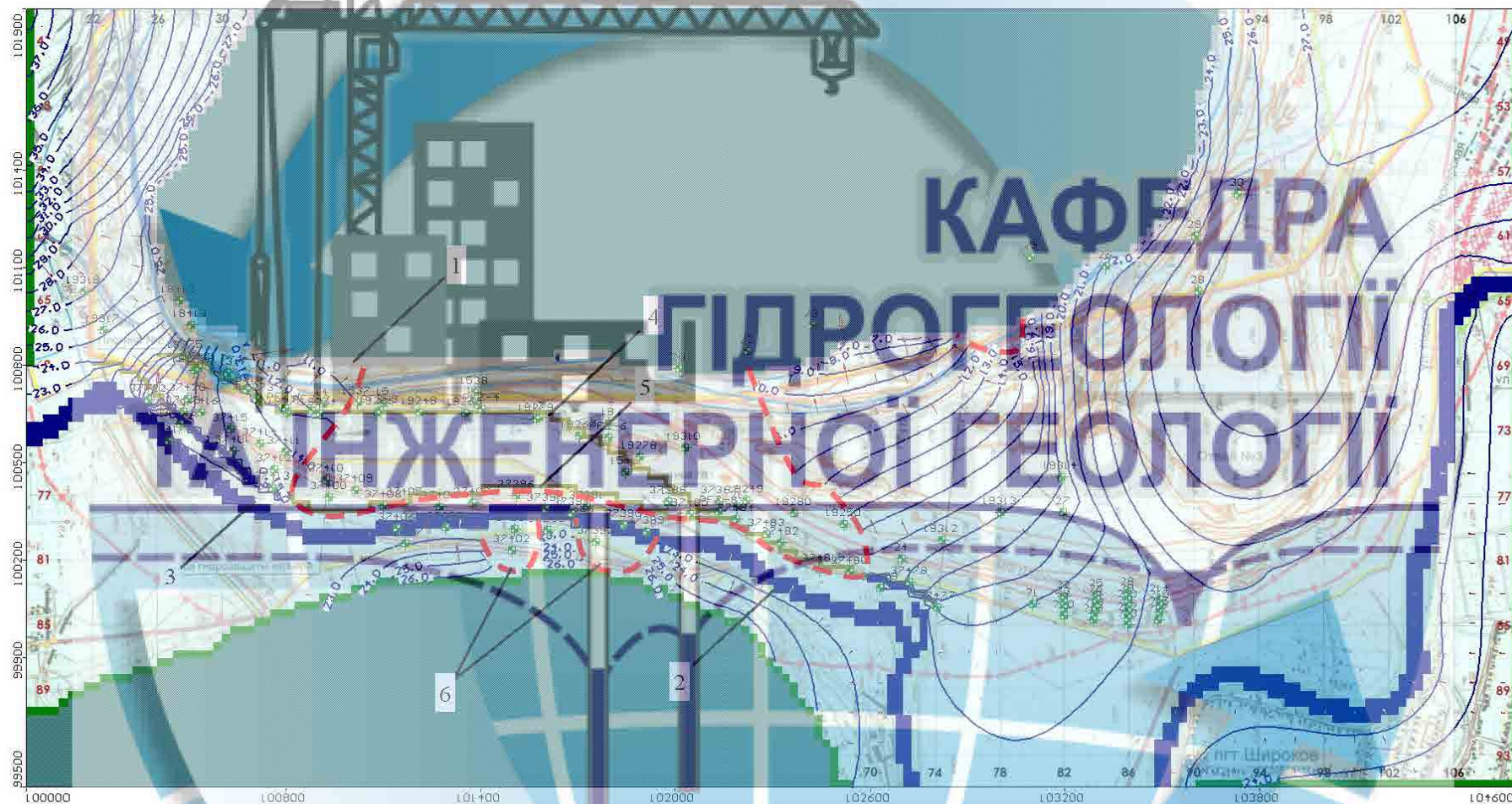


Рисунок 5.12 – Положення рівневої поверхні алювіального водоносного горизонту (розрахунковий шар 5) при проєктованому положенні нового русла р. Ингулець і спорудженні нової ПФЗ: 1 – існуюче положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Ингулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована протифільтраційні завіси; 6 – зони осушення



Рисунок 5.13 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умовах проектного 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 проти-фільтраційні завіси

Однак, завдяки формуванню слабопроникних зон в межах східного укосу порідного відвалу № 3 при спорудженні на його контурі протифільтраційної завіси 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/доб (див. табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Розподіл розрахункових водопритоків до східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової протифільтраційної завіси, м³/доб

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водоприток, м ³ /доб			
		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 протифільтраційної завіси забезпечує підтримку досягнутого зниження кар'єрних водопритоків на рівні 479,7 м³/доб (20,0 м³/год) в межах східного борту кар'єру (табл. 5.8). 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/доб і 112,4 м³/доб (рис. 5.11, 5.12 і 5.13).

Таблиця 5.8 – Балансові складові модельованої області в умовах очікуваного положення східного борту кар'єру при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової протифільтраційної завіси, м³/доб

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 порідного 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 укусу відвалу не перевищують 21,3 м³/доб.

Слід також відзначити, що наявність протифільтраційної завіси за умови досягнення контуром кар'єру граничного положення забезпечує збереження зони осушення алювіального горизонту в межах м.о. 54...72 (рис. 5.15, табл. 5.9).

Виконаний аналіз розрахункових даних дає підстави вважати, що необхідна ефективність протифільтраційної завіси з гідравлічною проникністю не вище 0,001 м/доб 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. 5.5, 5.9).

Таблиця 5.9 – Розподіл розрахункових водопритоків східного борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проектуваному будівництві нового русла р. Інгулець, спорудженні нової протифільтраційної завіси і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/доб

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /доб			
		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
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

Подовження протифільтраційної завіси до м.о. 90 (рис. 5.17, 5.18 і 5.19) не створює визначального впливу на величини кар'єрних водопритоків, що формуються в межах м.о. 59...98. Так, за даними моделювання встановлено, що при спорудженні додаткової ділянки протифільтраційної завіси в межах м.о. 74...90 зниження водопритоків до північно-східного борту кар'єру не перевищує 147,2 м³/доб або 6,1 м³/год.

Крім того, спорудження протифільтраційної завіси 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 порідного відвалу і, як наслідок, створювати передумови для порушення стійкості східного укосу відвалу (див. рис. 5.17).

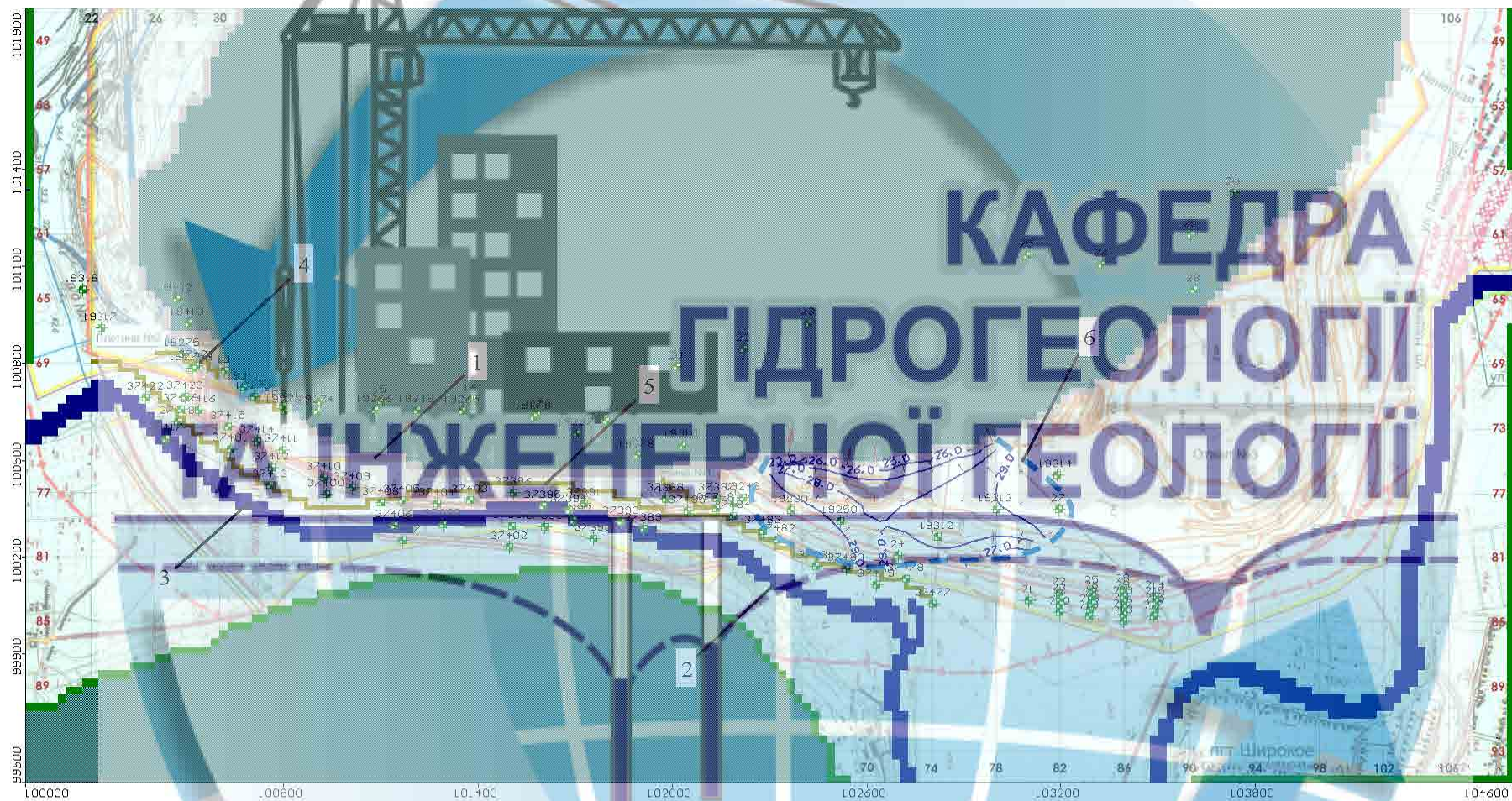


Рисунок 5.14 – Положення рівневої поверхні обводненої зони порідного відвалу № 3 (розрахунковий шар 1) в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проектне положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проектане нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована протифільтраційні завіси; 6 – зона обводнення

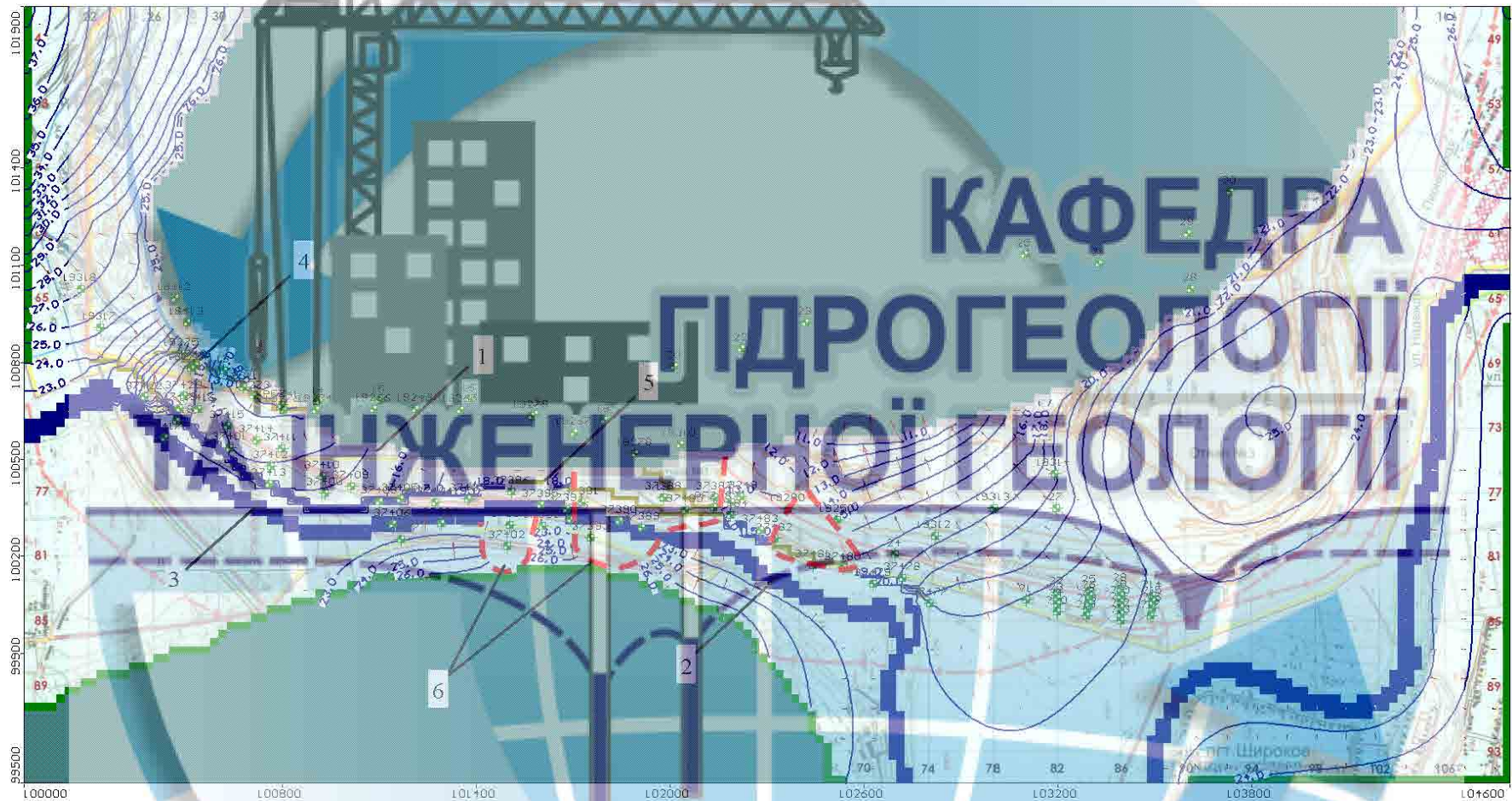
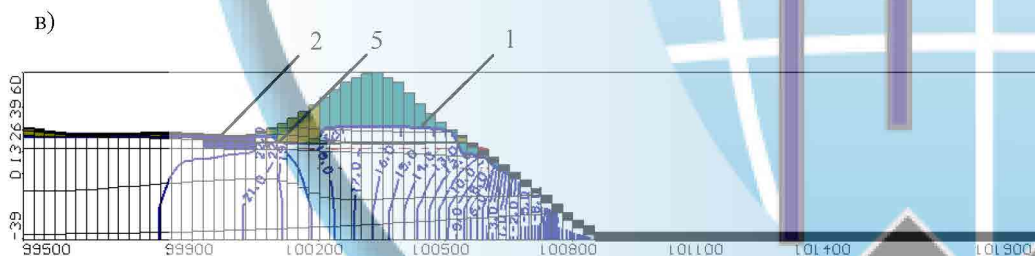
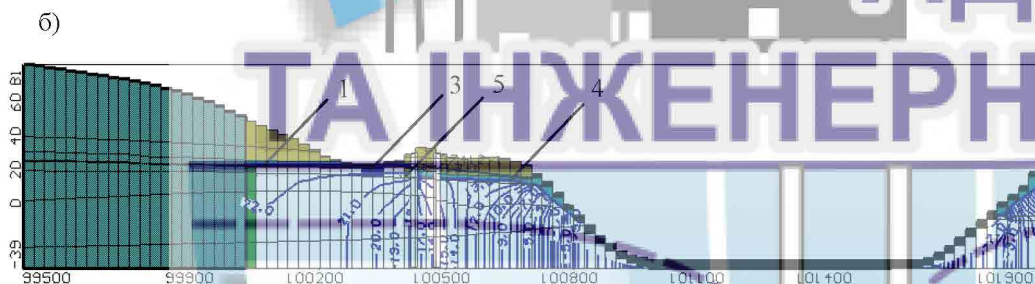
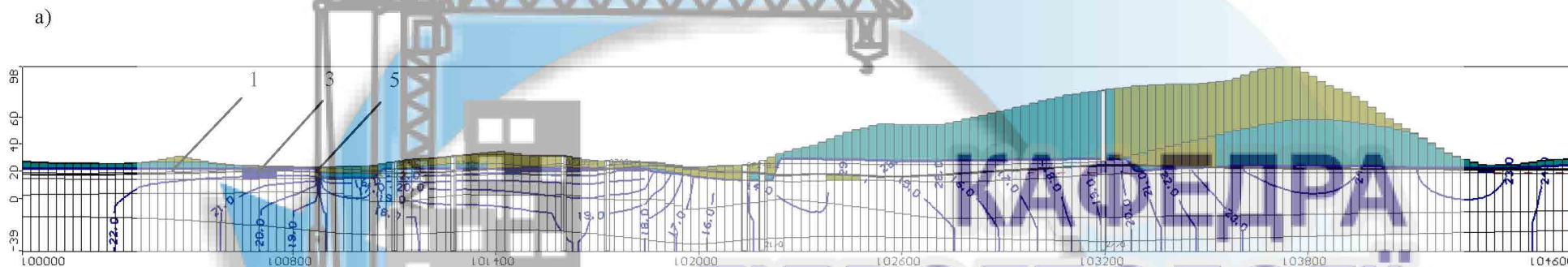


Рисунок 5.15 – Положення рівневої поверхні алювіального водоносного горизонту (розрахунковий шар 5) в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована протифільтраційні завіси; 6 – зона осушення



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Рисунок 5.16 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умов проектування нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру, а – меридіональний напрям, б, в – широтний напрям: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проектоване положення нового русла р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована протифільтраційні завіси

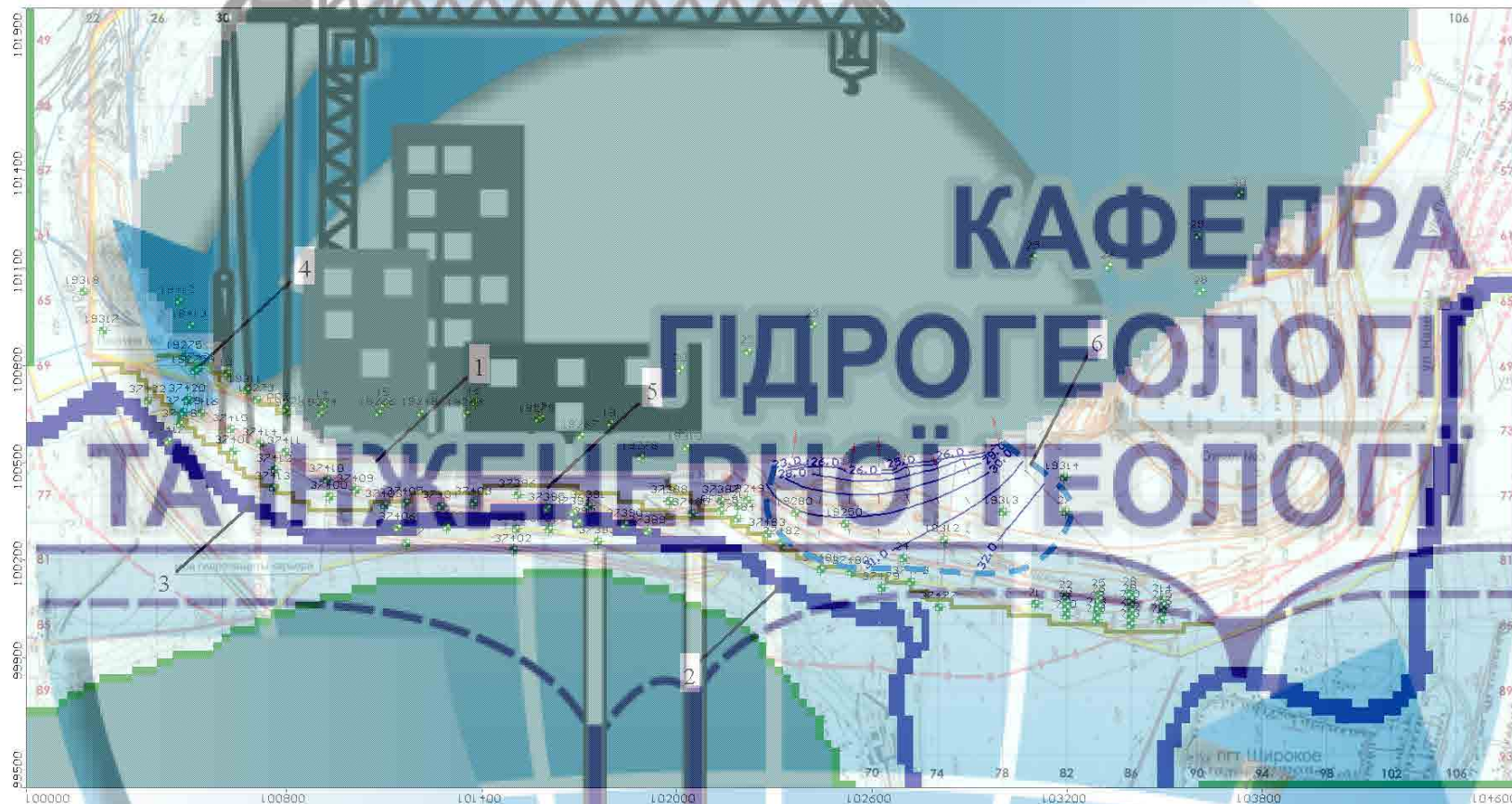


Рисунок 5.17 – Положення рівневої поверхні обводненої зони порідного відвалу № 3 (розрахунковий шар 1) в умовах проектного положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ з подовженням і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проектне положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проектане нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проектована подовжена протифільтраційні завіси; 6 – зона обводнення

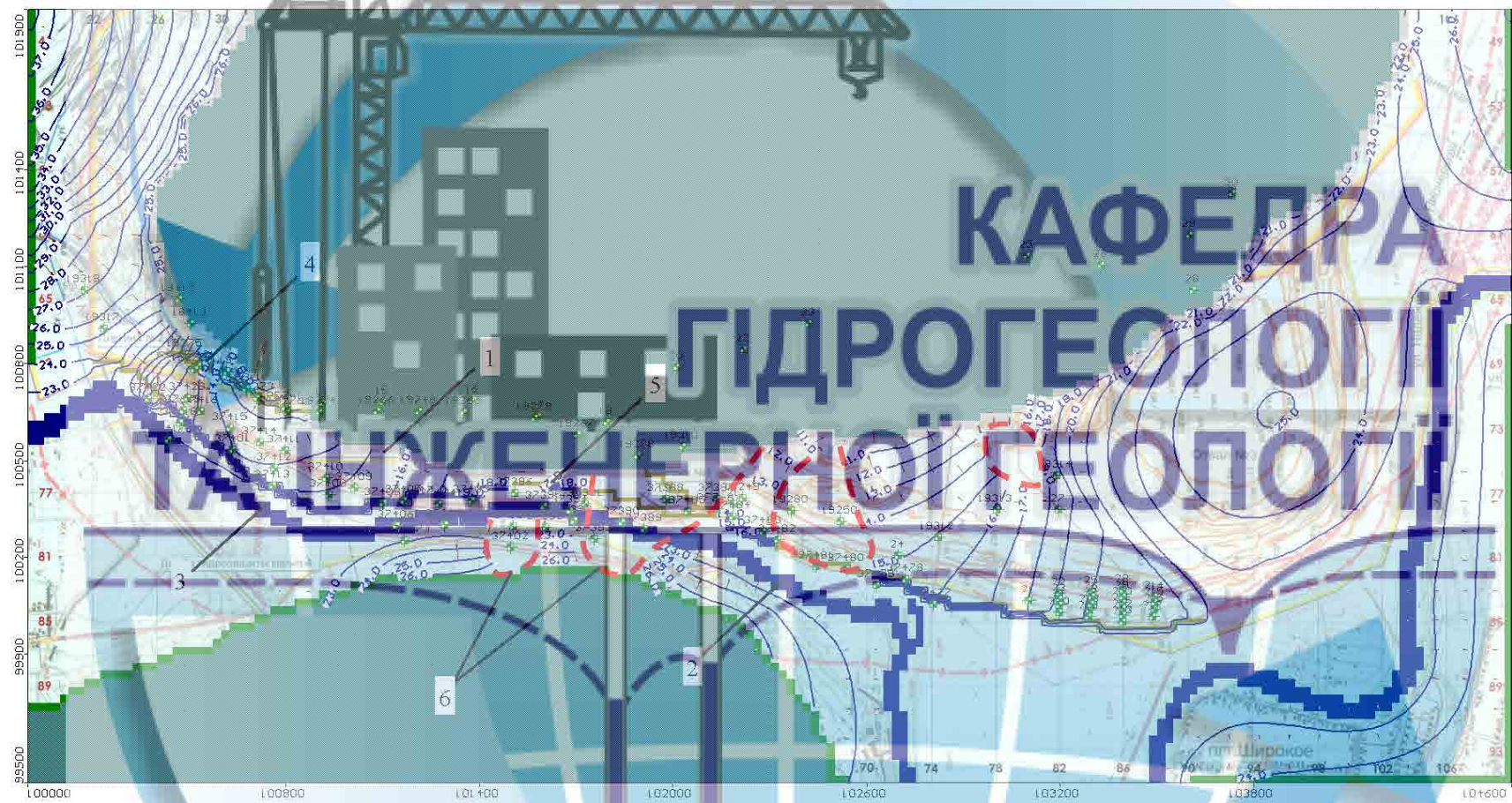


Рисунок 5.18 – Положення рівневої поверхні аллювіального водоносного горизонту (розрахунковий шар 5) в умовах проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ з подовженням і очікуваному положенні контуру кар'єру: 1 – проєктне положення східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК"; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване нове русло р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована подовжена протифільтраційні завіси; 6 – зона осушення

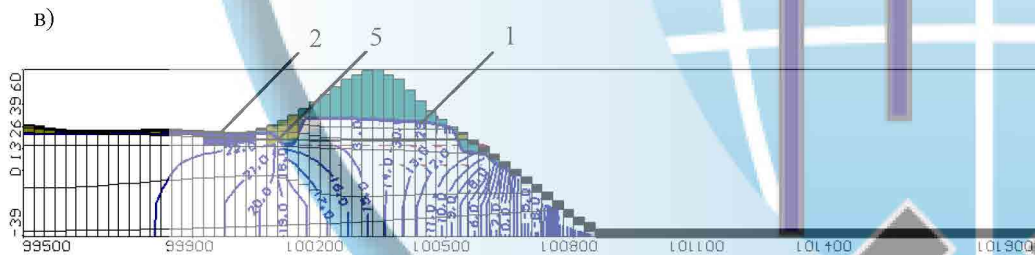
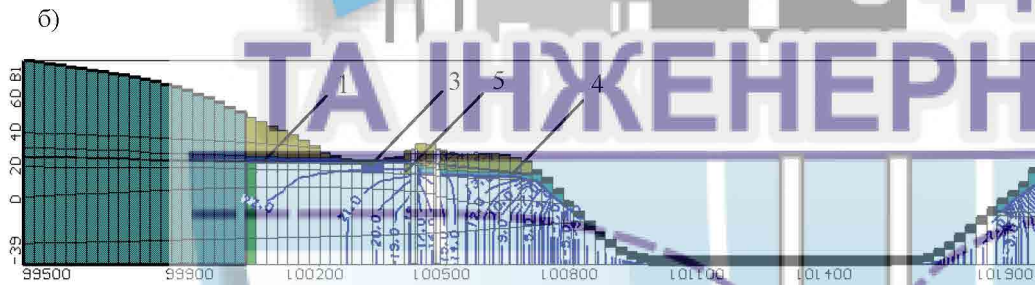
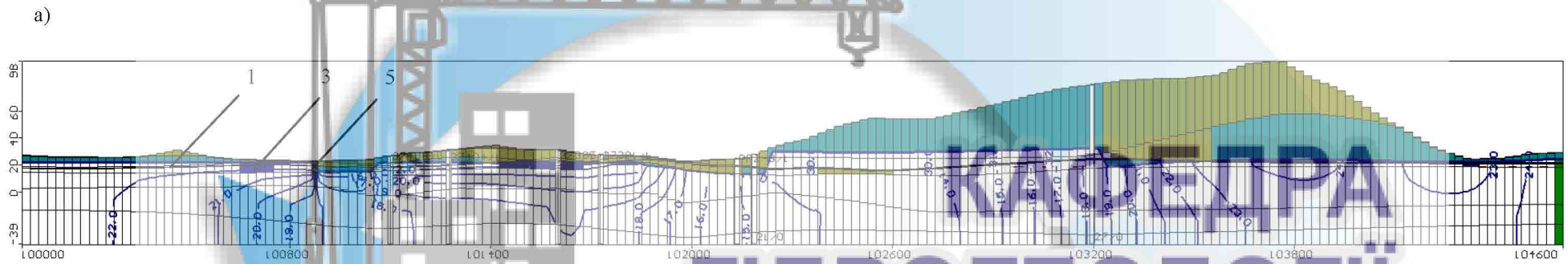


Рисунок 5.19 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території в умов проєктованого положення нового русла р. Інгулець при спорудженні нової ПФЗ і очікуваному положенні контуру кар'єру, а – меридіональний напрямок, б, в – широтний напрямок: 1 – рівнева поверхня; 2, 3 – відповідно існуюче і проєктоване положення нового русла р. Інгулець; 4, 5 – відповідно існуюча і проєктована подовжена протифільтраційні завіси

Таблиця 5.10 – Балансові складові модельованої області в умовах очікуваного положення борту кар'єру при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець і спорудженні нової подовженої протифільтраційної завіси, м³/доб

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

Таблиця 5.11 – Розподіл розрахункових водопритоків борту кар'єру в 26...90 маркшейдерських осях при проектованому будівництві нового русла р. Інгулець, спорудженні нової подовженої протифільтраційної завіси і очікуваному положенні контуру кар'єру на період 25 років, м³/доб

Номер ділянки	Маркшейдерські осі (м.о.)	Кар'єрний водопріток, м ³ /доб			
		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
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 північно-східного борту кар'єру за варіантами рішень зведені до порівняльної таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Порівняльна таблиця розрахункових водопритоків в межах східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" в 26... 90 маркшейдерських осях за результатами геофільтраційного моделювання

№ ділянки	Маркшейдерські осі	Водопріток, м ³ /год					
		Обернена задача зі старого 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	12,676	10,100	5,754	4,216	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	-85,10

ВИСНОВКИ

Аналіз даних про геолого-гідрогеологічні умови Інгулецького залізорудного родовища та досліджуваної території в межах східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК", а також результатів моделювання гідродинамічних процесів і гідрогеомеханічного стану ділянки зчленування північно-східного борту кар'єру з порідним відвалом № 3, дозволив зробити наступні висновки.

1. Гідрогеологічні умови території родовища і ділянки північно-східного борту кар'єру визначаються наявністю підземних вод, приурочених до тріщинуватої зони кристалічного масиву, теригенно-карбонатних неоген-палеогенових відкладень, четвертинного комплексу лесовидних відкладень корінного масиву і алювіальних відкладень заплави річки Інгулець.

Характер впливу водовмісних четвертинних відкладень на формування кар'єрних водопритоків залежить від умов залягання та потужності водопроникних і розділюючих водотривких шарів в товщі алювіальних відкладень, ефективності роботи існуючої протифільтраційної зависи, рівня інфільтраційного живлення алювіального водоносного горизонту на ділянці розташування порідного відвалу № 3.

2. Розроблена геофільтраційна модель представлена восьмишаровою товщею, яка у відповідності до загальної гідродинамічної схеми досліджуваної території відображує головні закономірності у живленні та розвантаженні розвинутого в межах досліджуваної території алювіального водоносного горизонту. Основними із врахованих закономірностей є забезпечене живлення алювіального горизонту в зоні дренуючого впливу східного борту кар'єру фільтраційними водами річки Інгулець та додаткове його інфільтраційне площинне живлення в межах розташування порідного відвалу № 3.

До особливостей балансу модельованої області віднесена виражена залежність режиму алювіального водоносного горизонту від наявності в товщі порід спорадично розповсюдженого водотривкого шару глини, який обмежує надходження фільтраційних вод з річки Інгулець до шару пісків з підвищеною гід-

равлічною проникністю в підшві алювіальних відкладень.

3. Встановлені за результатами моделювання величини водопритоків та характер їх розподілу погоджуються з фактичними величинами водопритоків та їх розподілом як у межах всього східного борту кар'єру, так і у межах його північно-східної ділянки.

При загальному обсязі водопритоків до східного борту кар'єру на рівні 2374,9 м³/доб або 98,9 м³/год їх максимум складає 316,8 м³/доб (13,2 м³/год) в інтервалі 38...42 м.о. з поступовим зниженням в північному напрямку до 159,8...249,1 м³/доб (6,7...10,4 м³/год), що визначається відносною віддаленістю східного борту кар'єру як контуру дренавання алювіального водоносного горизонту від русла річки Інгулець.

4. Характерною особливістю розподілу величин водопритоків в межах східного борту кар'єру є їх залежність від характеру залягання товщі різнозернистих гравелистих пісків на еродованій поверхні київських глин. Закономірне зростання розрахункових водопритоків в межах східного борту кар'єру припадає на ділянки понижених (до 5,5...12,0 м) відміток підшви гравелистих пісків. В межах північно-східного борту кар'єру в період відпрацювання залізородного родовища високі значення водопритоків (до 50 м³/год станом на 21.06.1989 р.) співпадали з пониженнями покрівлі київських глин в м.о. 68...74/57...67 до відміток -6,0...+7,0 м. Для існуючого положення північно-східного борту кар'єру виділяються дві такі ділянки – в м.о. 50...58 та 62...70, де величини водопритоків за даними моделювання досягають 249,09 м³/доб (10,38 м³/год).

5. Гідродинамічний вплив породного відвалу № 3 в межах північно-східного борту кар'єру визначається рівнем інфільтраційного живлення в межах ділянки розташування відвалу і можливою наявністю шару слабопроникних ущільнених порід в його підшві, що сприяє формуванню в нижньому інтервалі складованих порід водонасиченої зони із загальним ухилом поверхні в південно-західному і південно-східному напрямках і абсолютними відмітками 24,1...31,4 м. Величини водопритоків із техногенного горизонту на контурі

кар'єру в межах м.о. 54...82 досягають $28,27 \text{ м}^3/\text{доб}$ ($1,2 \text{ м}^3/\text{год}$).

6. Прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці східного борту кар'єру в умовах спорудження нового русла р. Інгулець у відповідності до його проектного положення показує, що будівництво нового русла 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 проєктованого будівництва нового русла р. Інгулець.

7. В умовах проектного положення контуру кар'єру приріст прогнозних водопритоків відбувається як в межах південної, так і північної ділянок східного борту кар'єру, складаючи відповідно на ділянках їх концентрації $839,8 \text{ м}^3/\text{доб}$ в м.о. 30...46 і $603,09 \text{ м}^3/\text{доб}$ – в м.о. 58...74. 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.

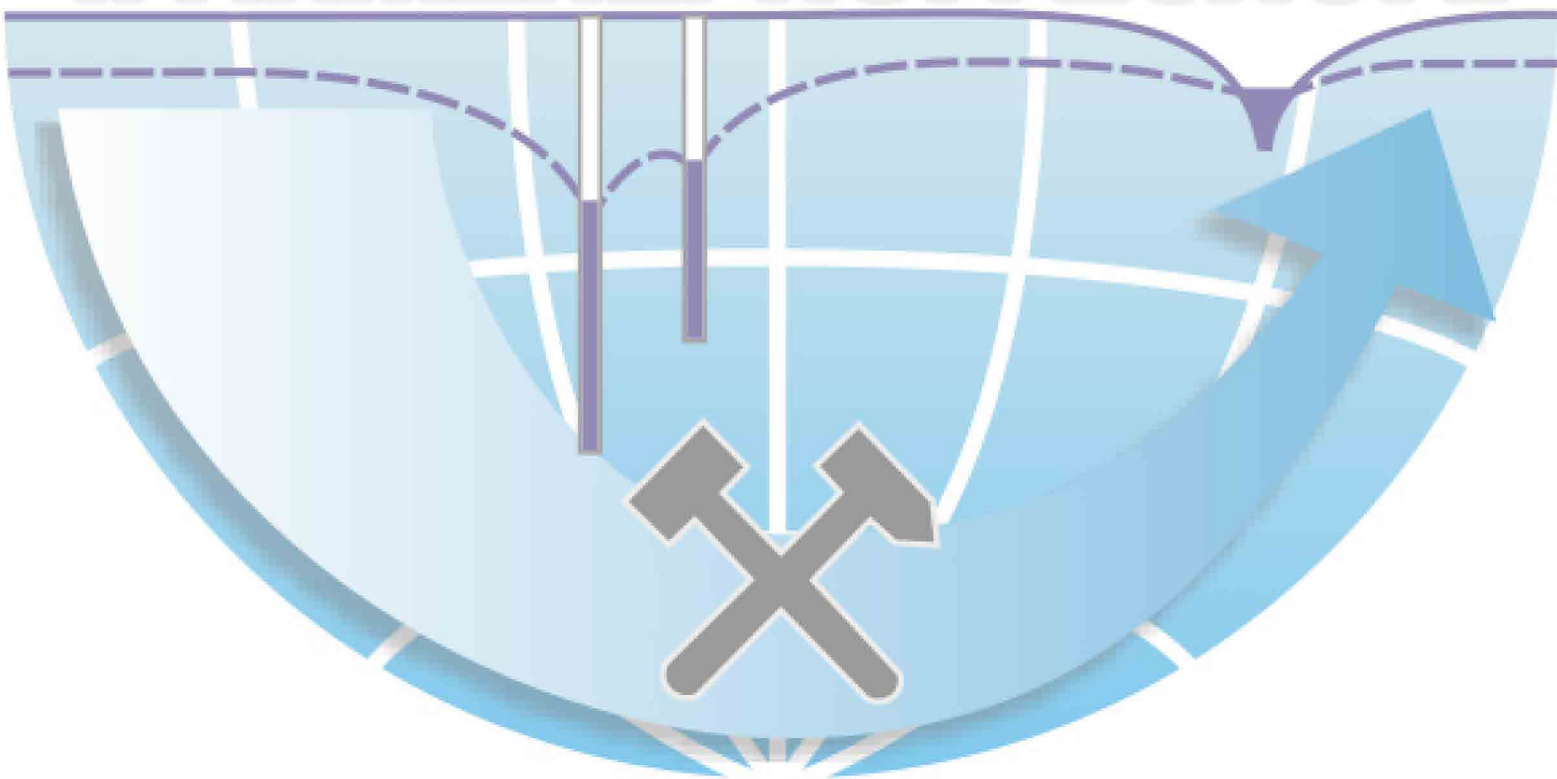
8. Ефективність протифільтраційної зависи з гідравлічною проникністю не вище $0,001 \text{ м}/\text{доб}$ шириною $0,7 \text{ м}$ і заглибленням підшови в алевритові глини київського ярусу палеогену забезпечується при її спорудженні на західному контурі р. Інгулець в межах м.о. 22...74, за рахунок чого відбувається зниження водопритоків в кар'єр в межах м.о. 26...90 до величини $540,2 \text{ м}^3/\text{доб}$ або $22,5 \text{ м}^3/\text{год}$ при існуючому положенні контуру кар'єру. При цьому спостерігається формування зон осушення алювіального горизонту на контурі кар'єру в межах м.о. 34...70.

В умовах очікуваного розвитку гірничих робіт на період 25 років спорудження протифільтраційної зависи забезпечує підтримку досягнутого зниження кар'єрних водопритоків на рівні $479,7 \text{ м}^3/\text{доб}$ ($20,0 \text{ м}^3/\text{год}$) з формуванням основних їх об'ємів в межах м.о. 30...34 і 70...74 з величинами відповідно $183,3 \text{ м}^3/\text{доб}$ і $112,4 \text{ м}^3/\text{доб}$.

9. Зважаючи на наявність обводненої зони в підшві складованих у відвал № 3 порід і зв'язану з цим можливість формування гідравлічного підпору в межах східного укосу порідного відвалу закладення протифільтраційної завіси доцільно здійснювати в інтервалі алювіальних відкладень нижче ординарної відмітки рівня води в р. Інгулець +22,2 м. Відсутність ізольованого інтервалу вище вказаної відмітки буде забезпечувати можливість розвантаження техногенного горизонту в напрямку р. Інгулець і сприяти підвищенню гідрогеомеханічної стійкості східного укосу порідного відвалу.

10. Подовження протифільтраційної завіси до м.о. 90 не здійснює визначального впливу на величини кар'єрних водопритоків, що формуються в межах м.о. 59...98 (їх зниження не перевищує $147,2 \text{ м}^3/\text{доб}$ або $6,1 \text{ м}^3/\text{год}$), проте може перешкоджати розвантаженню ґрунтових вод з обводненої зони у підшві порідного відвалу і, як наслідок, створювати передумови для порушення стійкості його східного укосу.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Опублікованої

1. Багрій І.Д., Блінов П.В., Белокопитова Н.А. Геоекологічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі / І.Д. Багрій, П.В. Блінов, Н.А. Белокопитова та ін. – К.: Фенікс, 2002. – 192 с.
2. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
3. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян и др. – М.: Недра, 1977. – 271 с.
4. Гриневский С.О., Новоселова М.В. Закономерности формирования инфильтрационного питания подземных вод / Водные ресурсы. – 2010. – Т.37. – № 6 – С. 1-12.
5. Інфільтраційне живлення ґрунтових вод Причорноморського артезіанського басейну / Білокопитова Н.А., Рубан С.А., Подвігіна О.О., Буцька Ю.М. – ДВ УкрДГРІ. Дніпропетровськ, 2010.
6. Лившиц В.М., Белокопытова Н.А. и др. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтрации подземных вод в слоистых толщах. – Днепропетровск: ДО ИМР, 1987.
7. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
8. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.
9. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра, 1988. – 261 с. : ил.
10. 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).
11. Проектирование водозаборов подземных вод. Под ред. Ф.М. Бочевера.

– М.: Стройиздат, 1976. – 292 с.

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

13. Kinzelbach W. Groundwater modeling. – Amsterdam: Elsevier. – 1986. – 312 p.

14. McDonald M.G. and Harbaugh A.W., 1984. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, 528 p.

Фондової

15. Доразведка железистых кварцитов с целью уточнения инженерно-геологических и гидрогеологических условий Ингулецкого месторождения Днепропетровской области / Отчет Саксаганской гидрогеологической партии за 1987-1989 г.г. (в 3-х книгах). № гос. регистр. 39-87-91/4. Книга 1. Текст отчета. – Кривой Рог, 1989. – 99 с.

16. Доразведка железистых кварцитов с целью уточнения инженерно-геологических и гидрогеологических условий Ингулецкого месторождения Днепропетровской области / ВИОГЕМ: Отчет о научно-исследовательской работе по разработке мероприятий по обеспечению устойчивости восточного и западного бортов карьера. № гос. регистр. 39-87-91/4. Книга 2. Шифр 3.12-3-А-112-88-Р. – Белгород, 1989. – 217 с.

17. Рекомендации по вопросу восстановления разрушенной части противофильтрационной завесы и по разработке временных и постоянных дренажных сооружений на карьере ИнГОКа / ГНПП "МЭГГИ". – Кривой Рог, 1994. – 2 с.

18. Оценка эффективности противофильтрационной завесы и установление целесообразности ее в районе оползня № 3 / НПП "КОРД": Отчет о научно-исследовательской работе. – Кривой Рог, 1994. – 40 с.

19. Комплексный проект поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки Ингулецкого месторождения. Расширение отвала № 2. Инженерно-геологические изыскания. Рабочий проект. Т. 1. Пояснительная записка. 04237-ПЗ. ГПИ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривой Рог, 2005. – 117 с.

20. ВАТ "ІнГЗК". Розширення відвалу № 1. Етап VII. Інженерно-геологічні вишукування. Робочий проект. Т. 1. Пояснювальна записка. 09196 – ПЗ. ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2010. – 141 с.

21. ВАТ "ІнГЗК". Розширення відвалу № 1. Етап VII. Інженерно-геологічні вишукування. Робочий проект. Т. 4. Додаток II. Геолого-літологічні розрізи по свердловинам. 09196 – Д. ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2010.

22. ВАТ "ІнГЗК". Розширення відвалу № 1. Етап VII. Інженерно-геологічні вишукування. Робочий проект. Т. 5. Графічні додатки. 09196 – ГД. ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2010.

23. ПАО "Ингулецкий горно-обогатительный комбинат". Расширение отвала № 1. Оценка воздействия отвала № 1 Ингулецкого ГОКа на наземную гидросферу. ЧАО "Тяжпромавтоматика". – Харьков, 2011. – 78 с.

24. ПАО "Ингулецкий ГОК". Разработка гидродинамической модели территории и выполнение оценки влияния отвала № 2 на уровень режим и качество грунтовых вод лессовидных суглинков и аллювиальных отложений пойменных фаций р. Ингулец. ЧАО "Тяжпромавтоматика". – Харьков, 2013. – 123 с.

25. Гідрогеологічне обстеження північного і східного бортів Інгулецького кар'єру з застосуванням сучасних методів досліджень / ВЕАГНУ АГН України. – Кривий Ріг, 2014. – 337 с.

26. Геомеханическая оценка устойчивости бортов карьера ПАО "ИнГОК" в рамках авторского надзора. КП "Академический дом" АГН Украины. – Кривой Рог, 2015. – 69 с.

27. Відпрацювання Інгулецького родовища ПАТ "ІнГЗК" в межах ліцен-

зійної площі. Відвал № 5. Проект. Т. 1. Інженерно-геологічні вишукування. Пояснювальна записка. 14147 – ІГ2, ПЗ. ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2015. – 153 с.

28. Відпрацювання Інгулецького родовища ПАТ "ІнГЗК" в межах ліцензійної площі. Відвал № 5. Проект. Т. 3. Інженерно-геологічні вишукування. Графічні додатки. 14147 – ІГ2, ПЗ. ДП "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2015.

29. Отработка Ингулецкого месторождения карьером ПАО "ИнГОК" в границах лицензионной площади. Проект. Т. 3. Пояснительная записка и чертежи. 14147-1200-Г,ГО,ГТ.ОТР.ПЗ. Основные технические решения. ГП "ГПИ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривой Рог, 2016. – 135 с.

30. Відпрацювання Інгулецького родовища кар'єром ПАТ "ІнГЗК" в межах ліцензійної площі. Руслоспрямляючий канал для р. Інгулець. відсічні перемички. Протифільтраційна завіса. Проект. Том 1. Інженерно-геологічні вишукування. Пояснювальна записка. 14147-ПЗ / ДПІ "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2015. – 194 с.

31. Відпрацювання Інгулецького родовища кар'єром ПАТ "ІнГЗК" в межах ліцензійної площі. Відвал № 3. Подовження ПФЗ. Проект. Том 1. Інженерно-геологічні вишукування. Пояснювальна записка. 14147-ІГ1, ПЗ / ДПІ "ДПІ "КРИВБАСПРОЕКТ". – Кривий Ріг, 2015. – 17 с.

32. Информационный отчет о результатах выполненных работ по изучению режима подземных и поверхностных вод в пределах контура карьера, зоны влияния горных работ и хвостохранилища ПАО "Ингулецкий ГОК" за 2013 год. ГП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГИЯ". – Кривой Рог, 2014. – 20 с

33. Информационный отчет о результатах выполненных работ по изучению режима подземных и поверхностных вод в пределах контура карьера, зоны влияния горных работ и хвостохранилища ПАО "Ингулецкий ГОК" за 2014 год. ГП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГИЯ" – Кривой Рог, 2015. – 20 с.

34. Информационный отчет о результатах выполненных работ по изучению режима подземных и поверхностных вод в пределах контура карьера, зоны

влияния горных работ и хвостохранилища ПАО "Ингулецкий ГОК" за 2015 год. ГП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГИЯ". – Кривой Рог, 2016. – 20 с.

35. Информационный отчет о результатах выполненных работ по изучению режима подземных и поверхностных вод в пределах контура карьера, зоны влияния горных работ и хвостохранилища ЧАО "Ингулецкий ГОК" за 2016 год. ГП "УКРЧЕРМЕТГЕОЛОГИЯ". – Кривой Рог, 2017 г. – 36 с.

36. Отчет по наблюдениям за деформациями уступов карьера и ярусов отвала за 2016 год. Книга 1 / ЧАО "ИНГОК". – Кривой Рог, 2017. – 96 с.

37. Дослідження закономірностей формування кар'єрних водопритоків та прогнозна оцінка їх величин у зв'язку з розробкою технічних рішень щодо гідрозахисту північно-східного борту кар'єру ПРАТ "ІНГЗК" (м.о. 56 ... 98). Проміжний звіт. Етап 1 / Державний ВНЗ "НГУ". – Дніпро, 2017. – 88 с.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

