

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДВЛЬНІСТЮ “ОРІОН-УКРАЇНА”

*Господарська діяльність, пов’язана із
створенням об’єктів архітектури*

Ліцензія – № 1-Л від 06.01.2016

*Реконструкція та ремонт гідротехнічних
споруд. Водолазне обстеження підводної
частини гідротехнічних споруд, у т.ч. з
залученням підводного телебачення або відео
зйомки*

*Свідоцтво про визнання Регістра
судноплавства № 41-4-3-14*

*Ремонт, технічне обслуговування
технологічного устаткування та лінійних
частин магістральних нафто-, продукто-,
газопроводів. Водолазні роботи. Земляні
роботи, що виконуються на глибині понад 2
метри чи під водою.*

*Дозвіл Держгірпромнагляду №
3006.12.32*

ЗВІТ

**Оцінку впливу ставка-накопичувачі шахтних вод «Балка Свистунова» на
гідрогеологічний та гідрохімічний стан території навколо ставка-
накопичувача при діючому режимі акумуляції та скиду шахтних вод та
прогноз змін впливу об’єкту на прилеглу територію при застосуванні
альтернативної схеми (режиму) акумуляції та скиду надлишків шахтних вод
зі ставка-накопичувача при розробці «Альтернативної схеми (режим)
акумуляції надлишків зворотних вод у ставку-накопичувачі шахтних вод
«Балка Свистунова»**

Директор



В.А.Самков

Київ 2018

СПИСОК АВТОРІВ

	Посада, науковий ступінь	Підпис	ПІБ
1	Директор ТОВ «Оріон-Україна», керівник робіт		Самков В.А.
2	Відповідальний виконавець, технічний директор ТОВ «Оріон-Україна»		Баранов Д.В.
3	Головний інженер проекту ТОВ «Оріон-Україна»		Федорусь В.Н.
4	Завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології Національного технічного університету "Дніпровська політехніка", доктор технічних наук, професор		Рудаков Д.В.

ЗМІСТ

1	ВСТУП	4
2	ВИХІДНІ ДАНІ ТА ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ ОЦІНКИ СУЧАСНОГО СТАНУ	5
2.1	Технічні та гідрологічні можливості подачі води по каналу Дніпро-Інгулець	5
2.2	Витрати та якість зосереджених притоків в річку Інгулець на ділянці від Карачунівського водосховища до контрольного створу нижче скиду зворотних вод зі ставка-накопичувача	6
2.3	Якість та обсяги води заакумульованих у ставку-накопичувачі перед скидом у річку Інгулець за останні 10 років	7
2.4	Режим скиду води зі ставка-накопичувача	9
2.5	Режим скиду води з хвостосховища ПРАТ «ПівнігЗК»	10
2.6	Витрати та якості води у контрольному створі нижче скиду та на гідропосту «Андріївка» за останні 10 років	11
2.7	Статистичні дані про рівні та вміст характерних забруднюючих речовин у ґрунтових водах в зоні розташування ставка-накопичувача	12
3	ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБ'ЄКТУ НА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ ТА ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАН ТЕРИТОРІЇ НАВКОЛО СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА ПРИ ДІЮЧОМУ РЕЖИМІ АКУМУЛЯЦІЇ ТА СКИДУ ШАХТНИХ ВОД	13
3.1	Аналіз статистичних даних про рівні підземних вод в зоні впливу ставка-накопичувача	13
3.1.1	Гідрогеологічна характеристика об'єкту	14
3.1.2	Статистичний аналіз показників гідрогеологічного режиму.	16
3.1.3	Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрогеологічний режим.	19
3.2	Аналіз статистичних даних про вміст характерних забруднюючих речовин у підземних водах в зоні впливу ставка-накопичувача	24
3.2.1	Характеристика гідрохімічного режиму	24
3.2.2	Мінералізація	27
3.3	Оцінка впливу ставка-накопичувача шахтних вод на гідрогеологічний та гідрохімічний стан прилеглої території при діючому режимі акумуляції та скиду	37
3.3.1	Оцінка водного балансу та фільтраційних втрат	37
3.3.2	Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрогеологічний режим	46
3.3.3	Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрохімічний режим	47
4	ПРОГНОЗ ЗМІН ВПЛИВУ СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА ШАХТНИХ ВОД НА ПРИЛЕГЛУ ТЕРИТОРІЮ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СХЕМИ (РЕЖИМУ) АКУМУЛЯЦІЇ ТА СКИДУ НАДЛИШКІВ ШАХТНИХ ВОД ЗІ СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА	50
4.1	Оцінка водного балансу та фільтраційних втрат	50
4.2	Оцінка впливу ставка на гідрогеологічний режим	55
4.3	Оцінка впливу ставка на гідрохімічний режим	55
	Додаток 1 - Бібліографічні посилання	60

1 ВСТУП

Звіт виконано у відповідності до договору № 2018-002 від 02.03.2018 р.

Завдання на проектування, календарний план передбачали :

1). Виконати збір інформації стосовно:

- технічних та гідрологічних можливостей подачі води по каналу Дніпро-Інгулець;
- витрат та якості зосереджених притоків в річку Інгулець на ділянці від Карачунівського водосховища до контрольного створу нижче скиду зворотних вод зі ставка-накопичувача;
- режимів скиду води зі ставка-накопичувача;
- якості та обсягів води заакумульованих у ставку-накопичувачі перед скидом у річку Інгулець за останні 10 років;
- витрат та якості води у контрольному створі нижче скиду та на гідропосту «Андріївка» за останні 10 років;
- статистичні дані про рівні та вміст характерних забруднюючих речовин у ґрунтових водах в зоні розташування ставка-накопичувача.

2). Виконати оцінку впливу об'єкту на гідрогеологічний та гідрохімічний стан території навколо ставка-накопичувача при діючому та альтернативному режимі акумуляції та скиду.

Джерела, що використовувалися при зборі та підготовці інформації наведені в додатку 1.

2 ВИХІДНІ ДАНІ ТА ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ ОЦІНКИ СУЧАСНОГО СТАНУ

2.1 Технічні та гідрологічні можливості подачі води по каналу Дніпро-Інгулець

При подачі на розбавлення шахтних вод з Карачунівського водосховища для компенсації витрат та обсягів води при існуючому режиму скиду та розбавлення шахтних вод задіяний канал Дніпро-Інгулець.

Канал бере свій початок в Обломеївському рукаві Цибульницької затоки Кременчуцького водосховища, розташованого на річці Дніпро. Траса каналу пролягає до р. Березівки, що впадає в верхів'я Олександрійського водосховища, розташованого на р. Інгулець. Далі по річці Інгулець дніпровська вода потрапляє у Іскрівське водосховище. Після проходження через Іскрівське водосховище дніпровська вода, що подається по каналу, потрапляє по руслу р. Інгулець та верхів'я Карачунівського водосховища.

Загальна довжина 150,5 км. На каналі діють 2 насосні станції (головна, або I підйому, та II підйому) продуктивність кожної $51 \text{ м}^3/\text{с}$, а висота підйому відповідно головної – 45,0 м та II підйому - 10,5 м.

На вододільній ділянці каналу побудовано 2 нитки тунелю діаметром 4 м, завдовжки 2170 м та швидкотік довжиною 5862 м з шириною по дну 8 – 9 м. Інші ділянки траси каналу мають трапецієподібний переріз із шириною дна 8 м. Протифільтраційне облицювання виконане на ділянці завдовжки 10,7 км.

На трасі каналу є шлюзи-регулятори, автодорожні та пішохідні мости, 3 регулюючі ставки, транзитне Скелівське водосховище (об'єм $1,1 \text{ млн. м}^3$), зливу пропускні споруди, аварійний скид тощо.

Технічні можливості каналу мають дві особливості:

- пропускна здатність окремих ділянок каналу. Одночасно частина каналу представляють собою русла річок. Тому, пропускна здатність каналу на таких ділянках обмежена пропускною здатністю русла, яка повинна враховувати пропуск власного стоку річки та витрат, що подаються насосними станціями;
- параметри насосно-силового обладнання насосних станцій.

Можливості каналу по гарантованій подачі води на ділянках, що проходять по руслах річок обмежені витратами $11,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Тому можливості по подачі води насосними станціями під лаштовані під подачу води в діапазоні до $11,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

На головній насосній станції встановлені 4 насосні агрегати, продуктивністю $8,0 \text{ м}^3/\text{с}$ та 2 агрегати, продуктивністю $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Окремо слід відмітити, що на даний момент можливості по забезпеченню насосних агрегатів електроенергією обмежені, і дозволяють подавати не більше $16,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Але цього достатньо, щоб організувати подачу води в режимі забезпечення максимальної пропускної каналу – $11,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

На насосній станції другого підйому встановлено 2 насосні агрегати, продуктивністю від $11,0$ до $18,0 \text{ м}^3/\text{с}$, 2 агрегати, продуктивністю $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ та 1 агрегат, продуктивністю $8,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким чином насосна станція забезпечує подачу по каналу витрат $11,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Середні концентрації хлоридів, сульфатів та загальної мінералізації дніпровської води на водозаборі каналу Дніпро-Інгулець під час подачі водив Карачунівське водосховище за період з 2013 по 2017 роки наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Компонент	Роки					Середнє значення за період
	2013	2014	2015	2016	2017	
Хлориди, мг/л	25,4	21,3	25,6	26,8	26,1	25,0
Сульфати, мг/л	26,5	29,8	30,4	34,9	21,6	28,6
Загальна мінералізація, мг/л	-	-	231,1	226,0	235,4	230,8

2.2 Витрати та якість зосереджених притоків в річку Інгулець на ділянці від Карачунівського водосховища до контрольного створу нижче скиду зворотних вод зі ставка-накопичувача

Інформація про середньомісячні витрати води з постійних водовипусків в р. Інгулець, нижче Карачунівського водосховища наведена в таблиці 2

Таблиця №2

Середньомісячні витрати води з постійних водовипусків в р. Інгулець, нижче Карачунівського водосховища

Джерело водовипуску	Витрати, м³/с
Обвідний канал	0,40
Південні очисні споруди КП “Кривбасводоканал”	0,18
Інгулецькі очисні споруди КП “Кривбасводоканал”	0,15*

*- на даний час та найближчу перспективу обсяг стоку Інгулецької станції аерації використовується у повному обсязі для поповнення зворотного циклу ПАТ «Інгулецький ГЗК».

Річка Саксагань повністю зарегульована. Можливості по скиду води у р.Інгулець регулюються водо випускною спорудою Саксаганського водосховища, останнього по течії водосховища. Скид виконується в залежності від водогосподарської ситуації і, в окремі періоди, для зменшення негативного впливу під час зрошувального сезону, повністю відсутній.

Гарантована (мінімальна) водовіддача р.Саксагань наведена в таблиці 3.

Таблиця 3.

Гарантована водовіддача р.Саксагань

Назва	м³/с
р. Саксагань, створ Держинського порталу	0,30

Якість води у джерелах можливого впливу на якість води в р. Інгулець на ділянці річки Інгулець від Карачунівського водосховища до створу гідропосту в с. Андріївка наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Джерела можливого впливу на якість води в р. Інгулець на ділянці від Карачунівського водосховища до гідропосту в с. Андріївка.

Назва об'єкту	* Середні показники вмісту забруднюючих речовин, мг/л			Жорсткість, мг/екв. л
	Хлориди	Сульфати	Мінералізація	
Північна станція аерації КОС	161	205	683	-
Канал «Дніпро-Кривий Ріг»	35	61	322	4,0
Саксаганське водосховище р. Саксагань	636	1015	2692	18,5
Канал «Дніпро-Інгулець»	26	29	230	3,6
Карачунівське водосховище р. Інгулець	104	421	1012	8,7
Обвідний канал	440	468	1858	-
Південна станція аерації КОС	493	433	2028	-
Ставок-накопичувач шахтних вод	20693	1382	39615	116,0
Інгулецька станція аерації КОС	Відсутня	достовірна	інформація	
Власна водозбірна площа ділянки річки Інгулець від Карачунівського водосховища до місця скиду зворотних вод зі ставка-накопичувача	Відсутня	достовірна	інформація	

2.3 Якість та обсяги води заакумульованих у ставку-накопичувачі перед скидом у річку Інгулець за останні 10 років

Шахтні води відкачуються з 8 діючих шахт (Тернівська, Гвардійська, Жовтнева, Батьківщина ПАТ «Кривбасзалізрудком», Ювілейна та ім. Фрунзе ПрАТ «СУХА БАЛКА», ім. Орджонікідзе ПрАТ «ЦГЗК», ШУ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») та з 2 шахт (Першотравнева-Дренажна ПрАТ «ПІВНГЗК», Гігант-Дренажна ПрАТ «ЦГЗК»), які реструктуризовані і працюють виключно у режимі гідрозахисту. Шахти ГПУ, Південна, Північна ім. Валявко ліквідовані і знаходяться на «мокрій» консервації, відкачка з них не здійснюється.

Фактичні обсяги відкачки шахтних вод за період з 2012 по 2017 роки наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Фактичні обсяги відкачки шахтних вод з 2012 по 2017рр. (тис. м³)

Назва підприємства	2012р.	2013р.	2014р.	2015р.	2016р.	2017р.
шахта "Тернівська"	1463,8	1584,4	1439,2	1368,4	1199,5	1389,8
шахта "Гвардійська"	1110,5	1232,2	1310,4	1136,6	929,3	1254,1
шахта "Ювілейна"	746,2	1002,4	1006,1	843,0	796,4	350,1
шахта ім. Орджонікідзе	161,2	159,3	146,1	126,0	136,0	136,9
Загалом по н.с. №8	3481,7	3978,3	3901,8	3474,0	3061,2	3130,9
шахта "Першотравнева-Дренажна"	585,4	628,0	569,9	563,4	587,1	589,8

Назва підприємства	2012р.	2013р.	2014р.	2015р.	2016р.	2017р.
Всього на північ	4067,1	4606,3	4471,7	4037,4	3648,3	3720,7
шахта "Октябрська"	1500,3	1482,6	1466,5	1273,9	1287,8	1355,8
шахта "Батьківщина"	3281,1	3709,8	4416,6	4619,1	4784,3	4673,0
шахта ім.Фрунзе	665,4	782,2	661,5	805,7	986,1	1390,7
Загалом по н.с. Шахтарська	5446,8	5974,6	6544,6	6698,7	7058,2	7419,5
ШУ "АрселорМіттал Кривий Ріг"	3673,1	3454,8	3229,0	3066,4	2791,1	2613,7
шахта "Гігант - Дренажна"	3143,6	3326,5	3291,9	3121,8	2704,8	2556,8
Загалом по н.с. Руднична	6816,7	6781,3	6520,9	6188,2	5495,9	5170,5
Всього на південь	12263,5	12755,9	13065,5	12886,9	12554,1	12590,0
Всього по Кривбасу	16330,6	17362,2	17537,2	16924,3	16202,4	16310,7

Перекачка шахтних вод до накопичувачів здійснюється по магістральним трубопроводам трьома насосними станціями шахтних вод (Руднична, Шахтарська та насосна станція №8).

Для сучасного режиму акумуляції та скиду шахтних вод зі ставка-накопичувача, максимальні рекомендовані рівні та обсяги наповнення до початку скиду не повинні перевищувати 7,9 млн.м³, що відповідає відмітці у водоймі 86.10 м.

В таблиці 6 наведена інформація про рівні та обсяги наповнення ставка-накопичувача шахтних вод за період 2008 - 2017 роки до початку скиду.

Таблиця 6

Максимальні рівні та обсяги наповнення ставка-накопичувача шахтних вод за період 2008 - 2017 роки перед початком скиду

№ п/п	Дата	Рівень, м	Об'єм, т.м. ³	Примітка
1	06.11.2008	85,90	7617,7	
2	14.11.2009	85,62	7240,0	
3	10.11.2010	86,09	7897,0	
4	14.11.2011	85,50	7078,5	
5	08.11.2012	85,05	6472,0	
6	01.12.2013	85,83	7523,4	
7	06.11.2014	85,26	6755,0	
8	09.12.2015	85,75	7413,3	
9	14.12.2016	85,74	7400,0	
10	31.12.2017	86,01	7768,0	Листопад-грудень 2017 рік— скид відсутній

Хімічний склад шахтних вод в ставку-накопичувачу приведений на основі постійних досліджень експлуатуючої організації ДП «Кривбасшахтозакриття» наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Хімічний склад шахтних вод в ставку-накопичувачу

Роки	Компоненти, мг/л		
	Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л	Мінералізація, мг/л
2007	19600	1300	36000
2008	19460	1249	38493
2009	20322	1392	37459
2010	19266	1308	39851
2011	20250	1365	41000
2012	21500	1400	41000
2013	20890	1390	41000
2014	20750	1370	38000
2015	20565	1395	38690
2016	20200	1370	38000
2017	20300	1400	38000
Середні за період	20280	1354	38949

Середньорічні за період з 2007 по 2017 роки показники якості зворотних вод, за акумульованих у ставку-накопичувачі при подачі південної групи шахт по концентрації хлоридів, сульфатів та по загальній мінералізації наведені в таблиці 8.

Таблиця 8

Середньорічні за період з 2007 по 2017 роки показники якості зворотних вод, за акумульованих у ставку-накопичувачі при подачі південної групи шахт по концентрації хлоридів, сульфатів та по загальній мінералізації

Компоненти		
Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л	Загальна мінералізація, мг/л
20280	1354	38949

Середньорічні за період з 2007 по 2017 роки показники якості зворотних вод, за акумульованих у ставку-накопичувачі при подачі південної та північної групи шахт по концентрації хлоридів, сульфатів та по загальній мінералізації наведені в таблиці 9.

Таблиця 9

Середньорічні за період з 2007 по 2017 роки показники якості зворотних вод, за акумульованих у ставку-накопичувачі при подачі південної та північної групи шахт по концентрації хлоридів, сульфатів та по загальній мінералізації

Компоненти		
Хлориди, мг/л	Сульфати, мг/л	Загальна мінералізація, мг/л
20893	1443	39828

2.4 Режим скиду води зі ставка-накопичувача

Динаміка фактичних обсягів скиду надлишків шахтних вод гірничорудних підприємств Кривбасу, що проходять через ставок-накопичувача з 2005 по 2018 рік наведено в таблиці 10.

Динаміка фактичних обсягів скиду

Період скиду: (листопад-лютий)	Фактичний обсяг скиду, млн. м ³
2005-2006 рр.	10,762
2006-2007 рр.	10,420
2007-2008 рр.	11,000
2008-2009 рр.	11,708
2009-2010 рр.	11,195
2010-2011 рр.	11,100
2011-2012 рр.	10,874
2012-2013 рр.	9,950
2013-2014 рр.	9,420
2014-2015 рр.	10,188
2015-2016 рр.	9,836
2016-2017 рр.	9,596
Середні за період з 2005 по 2017 роки	9,704
2017-2018 рр.	4,730

Примітка: період 2017-2018 роки не враховані при визначенні середнього за рік скиду зворотних вод зі ставка-накопичувача у зв'язку з неповним скидом зворотних вод, запланованих на ці роки скиду і не досягненням відмітки мертвого обсягу у ставку-накопичувачі.

2.5 Режим скиду води з хвостосховища ПРАТ «ПІВНІЗК»

З метою уникнення аварійних ситуацій на об'єкті підвищеної техногенної небезпеки підприємство вимушено періодично застосовувати випереджувальні заходи зі скиду надлишків зворотних вод в річку Саксагань.

Скидання надлишків зворотних вод з хвостосховища в р. Саксагань здійснюється двома поверхневими зосередженими водовипусками діаметром 630 мм, що розташовані на правому березі р. Саксагань, відповідно на 48 та 50 км від її гирла, нижче за течією від села Сергіївка. Витрати встановлюються і контролюються на спеціально обладнаних замірних вузлах.

Відведення надлишків зворотних вод з хвостосховища здійснюється згідно з індивідуальним регламентом скиду та відповідним розпорядженням Кабінету Міністрів України. Останній скид надлишків зворотних вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНІЗК» здійснювався в між вегетаційний період 2005-2006 рр.

Фактичні обсяги скиду надлишків вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНІЗК» наведені в таблиці 11.

Таблиця 11

Фактичні обсяги скиду надлишків вод з хвостосховища ПРАТ «ПІВНІЗК»

Міжвегетаційний період скиду (листопад-січень)	Фактичний обсяг скиду, млн.м ³
2000-2001 рр.	11,690
2001-2002 рр.	9,346
2002-2003 рр.	5,425
2003-2004 рр.	3,362
2005-2006 рр.	2,500

Хімічний склад зворотних вод у хвостосховищі станом на серпень 2017 р. наведено в таблиці 12.

Таблиця 12

Хімічний склад зворотних вод в хвостосховищі

Компоненти, мг/л		
Хлориди	Сульфати	Мінералізація
8360	1835	17042

2.6 Витрати та якості води у контрольному створі нижче скиду та на гідропосту «Андріївка» за останні 10 років

При виконанні аналізу даних якості води в р. Інгулець були використані вихідні матеріали моніторингових спостережень Дніпропетровського обласного управління водних ресурсів та данні сайту "МОНІТОРИНГ ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ Державного агентства водних ресурсів України" (<http://watermon.iisd.com.ua/>) гідропосту в с. Андріївка. Гідропост в с. «Андріївка» є найближчим, до місця скиду зворотних вод з ставка-накопичувача, постійно діючим контрольним створом, у якому, в рамках державної програми моніторингу якості поверхневих вод, виконуються вимірювання рівнів та витрат води, а також здійснюється контроль якості води в р. Інгулець.

В таблиці 13 наведено інформацію по витратам та якості води на гідропосту в с. Андріївка за період з 2010 по 2017 рік.

Таблиця 13

Витрати та якість води в р. Інгулець на гідропосту в с. Андріївка

Період	Витрати, м ³ /с			Вміст хлоридів, мг/л			Жорсткість, мг/екв. л		
	Мін.	Макс.	Середн.	Мін.	Макс.	Середн.	Мін.	Макс.	Середн.
2010 рік									
скиду шв.	6,3	97,2	51,8	400	3420	1910	9	30	19,5
стабілізації	4,4	32,4	18,4	620	1000	810	10	19	14,5
промивки	4,1	21,9	13,0	260	800	530	11	18	14,5
стабілізації	3,1	5,6	4,35	780	1250	1015	15	22	18,5
скиду шв.	4,7	10,6	7,65	760	3200	1980	17	28	22,5
2011 рік									
скиду шв.	4,9	9,1	7,0	1900	3580	2740	22	30	26
стабілізації	4,3	6,9	5,6	840	1620	1230	17	23	20
промивки	3,2	30,8	17,0	240	1080	660	10	21	15,5
стабілізації	2,4	8,1	5,25	620	1230	925	15	26	20,5
скиду шв.	2,5	10,0	6,25	720	3380	2050	17	30	23,5
2012 рік									
скиду шв.	5,1	9,7	7,4	1500	3460	2480	19	27	23
стабілізації	5,1	8,4	6,75	670	1900	1285	15	19	17
промивки	2,0	21,7	11,85	200	1190	695	10	22	16
стабілізації	2,6	3,6	3,1	1160	1520	1340	21	26	23,5
скиду шв.	3,3	8,7	6,0	1100	4180	2640	20	32	26

Період	Витрати, м³/с			Вміст хлоридів, мг/л			Жорсткість, мг/екв. л		
	Мін.	Макс.	Середн.	Мін.	Макс.	Середн.	Мін.	Макс.	Середн.
2013 рік									
скиду шв.	4,8	7,8	6,3	2120	3780	2950	23	30	26,5
стабілізації	3,3	4,6	3,95	670	2490	1580	14	26	20
промивки	2,9	19,6	11,25	220	1020	620	8	20	14
стабілізації	2,6	3,3	2,95	960	1560	1260	15	27	21
скиду шв.	2,7	9,1	5,9	1210	4000	2605	23	30	26,5
2014 рік									
скиду шв.	6,0	9,4	7,7	2500	3600	3050	23	30	26,5
стабілізації	3,4	6,0	4,7	1000	2700	1850	17	24	20,5
промивки	1,5	18,0	9,75	180	1180	680	8	22	15
стабілізації	2,2	3,8	3,0	980	1420	1200	16	27	21,5
скиду шв.	2,9	9,1	6,0	1040	4000	1520	21	29	25
2015 рік									
скиду шв.	4,1	7,5	5,8	2180	3900	3040	23	27	25
стабілізації	3,1	5,9	4,5	700	2660	1680	18	24	21
промивки	2,3	22,8	12,55	200	1200	700	9	17	13
стабілізації	1,8	3,3	2,55	1200	1640	1420	16	24	20
скиду шв.	2,7	7,8	5,25	1020	2180	1600	18	26	22
2016 рік									
скиду шв.	6,9	9,1	8,0	2000	3580	2790	23	31	27
стабілізації	4,1	7,2	5,65	720	2860	1790	19	27	23
промивки	3,1	19,1	11,1	220	1000	610	10	22	16
стабілізації	3,1	9,1	6,1	940	1200	1070	18	27	22,5
скиду шв.	3,8	8,4	6,1	800	3420	2110	24	29	26,5
2017 рік									
скиду шв.	8,1	10,6	9,4	1320	3860	2590	23	31	27
стабілізації	4,9	8,1	6,5	560	1680	1120	19	25	22
промивки	7,8	20,7	14,3	210	520	365	11	14	12,5
стабілізації	1,9	4,4	3,2	700	1780	1240	15	28	21,5
скиду шв.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2.7 Статистичні дані про рівні та вміст характерних забруднюючих речовин у ґрунтових водах в зоні розташування ставка-накопичувача

При зборі статистичних даних були використані дані об'єктового моніторингу та звіти Криворізької геолого-гідрогеологічної партії ДП «Укрчорметгеологія» за 2007-2017 рр.

Детально аналіз використаних даних наведений у наступному розділі.

3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБ'ЄКТУ НА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ ТА ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАН ТЕРИТОРІЇ НАВКОЛО СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА ПРИ ДНЮЧОМУ РЕЖИМІ АКУМУЛЯЦІЇ ТА СКИДУ ШАХТНИХ ВОД

3.1 Аналіз статистичних даних про рівні підземних вод в зоні впливу ставка-накопичувача

Статистичний аналіз виконано на основі звітів Криворізької геолого-гідрогеологічної партії ДП «Укрчорметгеологія» за 2007-2017 рр.[1]. Мережу моніторингу в зоні впливу ставка-накопичувача у б. Свистунова станом на 2016 р. представлено на рис. 1.

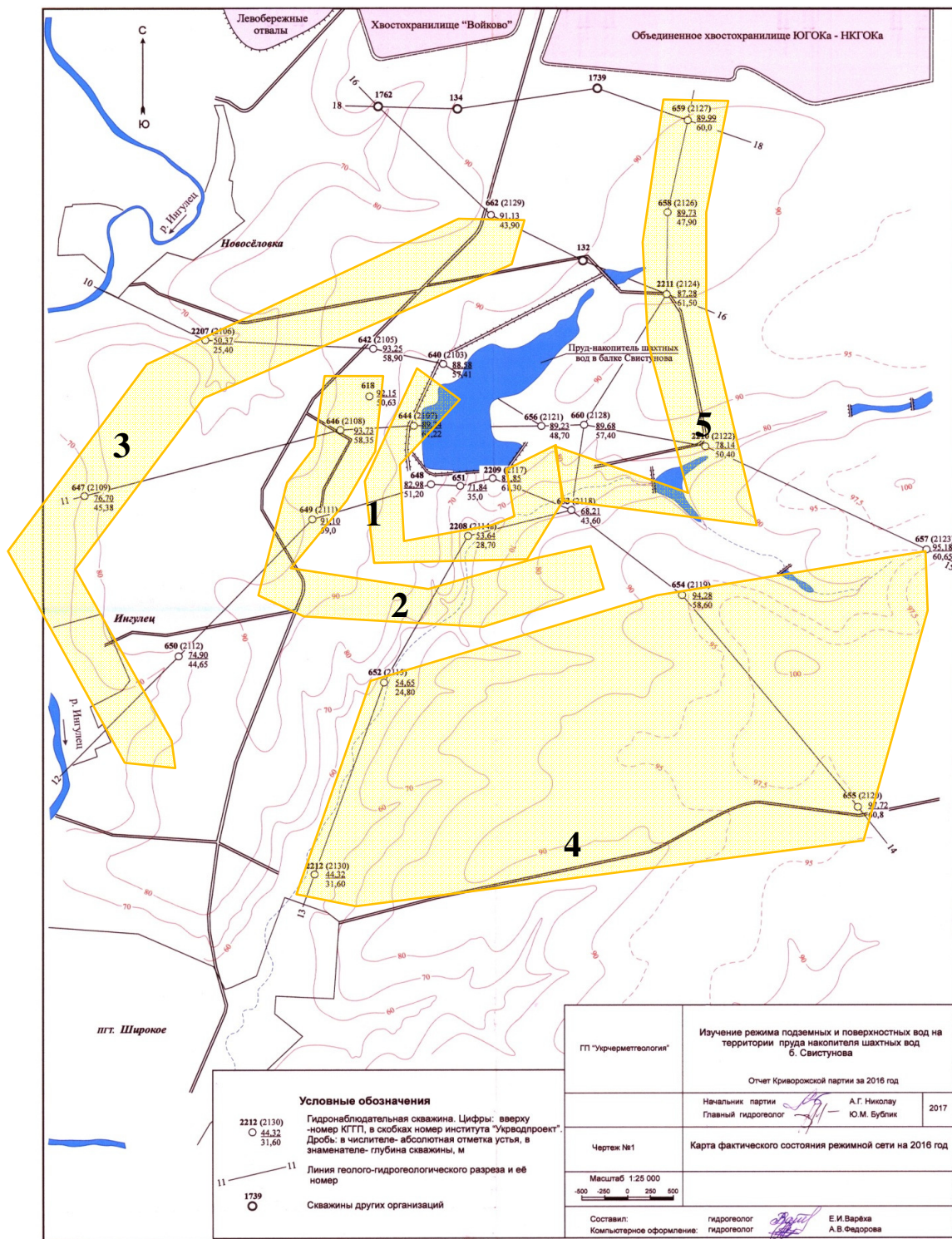


Рис. 1. Карта спостережної мережі навколо ставка-накопичувача у б. Свистунова

3.1.1 Гідрогеологічна характеристика об'єкту

У гідрогеологічному відношенні на території дослідження виділяються два основних водоносних горизонти: четвертинних відкладів та неогенових відкладів.

Водоносний горизонт четвертинних відкладів приурочений до товщі макропористих лесоподібних суглинків. В межах досліджуваної території поширений не повсюди і розкритий лише двома свердловинами (№645 і 639), розташованими біля водовідводної траншеї уздовж правого борту б. Свистунова. Станом на 2017 р. глибина рівня в них становила 7,54 і 5,80 м відповідно (абсолютні відмітки рівня – 82,06м і 83,10м). Свердловини №643 і 661 залишалися сухими, а у свердловині № 609 ґрунтові води залягали нижче контакту лесоподібних суглинків і суглинків важких, які слугують водотривким шаром. Вони розкриті на глибині близько 12 м від поверхні землі, тому ці свердловини можна вважати безводними. Отже, відповідно до наявних даних гідрогеологічного моніторингу, ставок-накопичувач впливає фактично на водоносний горизонт неогенових відкладень.

Водоносний горизонт неогенових відкладів являє собою понт-сарматський комплекс, оскільки водотривкий шар між понтичними і сарматськими відкладами в межах досліджуваної території відсутній. Верхнім водотривким шаром йому служать червоно-бурі суглинки неоген-четвертинного віку, а нижнім – глини київського ярусу. Горизонт поширений повсюдно, водовмісні породи представлені пісками і вапняками сарматського і пісками понтичного ярусів.

Станом на жовтень 2017р. підземні води залягали на глибинах від 3,73-13,81 м в межах схилів до 39,33-52,19 м на вододілах. Потужність водоносного горизонту становила від 6,81 до 25,94 м (свердловини №655, 2209).

На північ від ставка-накопичувача на відстані 2-2,5 км знаходяться хвостосховища «Войкове» та «Об'єднане» ПівдГЗК та ГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг». Територія на північ від ставка-накопичувача також зазнає впливу цих двох об'єктів на гідродинамічний режим. Аналіз форм гідроізогіпс неогенового горизонту (рис. 2) свідчить про фільтрацію вод з цих об'єктів у південному напрямку, яка створює умови для підпору, через що поверхня підземних вод зберігає форму купола розтікання, приуроченого до південної частини хвостосховищ «Войкове» і «Об'єднане», а також ставка-накопичувача з абсолютними відмітками 50-52,5 м. Від купола потік розтікається на захід, південь і південний схід. Абсолютні відмітки дзеркала підземних вод знижуються у західному і південно-західному напрямках у сторону долини р. Інгулець до 34,15-37,04 м. Величина гідравлічного градієнту змінюється від 0,002 на південь від ставка до 0,009 на захід від нього. На південь від ставка-накопичувача спостерігається депресійне зниження поверхні підземних вод з абсолютними відмітками в центрі депресії близько 42 м.

Таким чином, водоносний горизонт отримує живлення за рахунок фільтраційних втрат з хвостосховищ ПівдГЗК і НкГЗК, ставка-накопичувача, і за рахунок атмосферних опадів, переважно у місцях виходу неогенових відкладів на денну поверхню. Розвантажується горизонт в долину р. Інгулець. Кількісно оцінити та виокремити вплив хвостосховищ «Войкове» та «Об'єднане» ПівдГЗК та ГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг» на формування режиму неогенового водоносного горизонту без даних по свердловинам №134, 1739, 1762, 1732, 1741, 1743, 1760, 1763, 2058, 2066, 2098, 6049, 6050 та даних об'єктового моніторингу ПАТ «Південний ГЗК» на відстань до 1000 м на південь та південний схід у напрямку до ставка-накопичувача, неможливо.

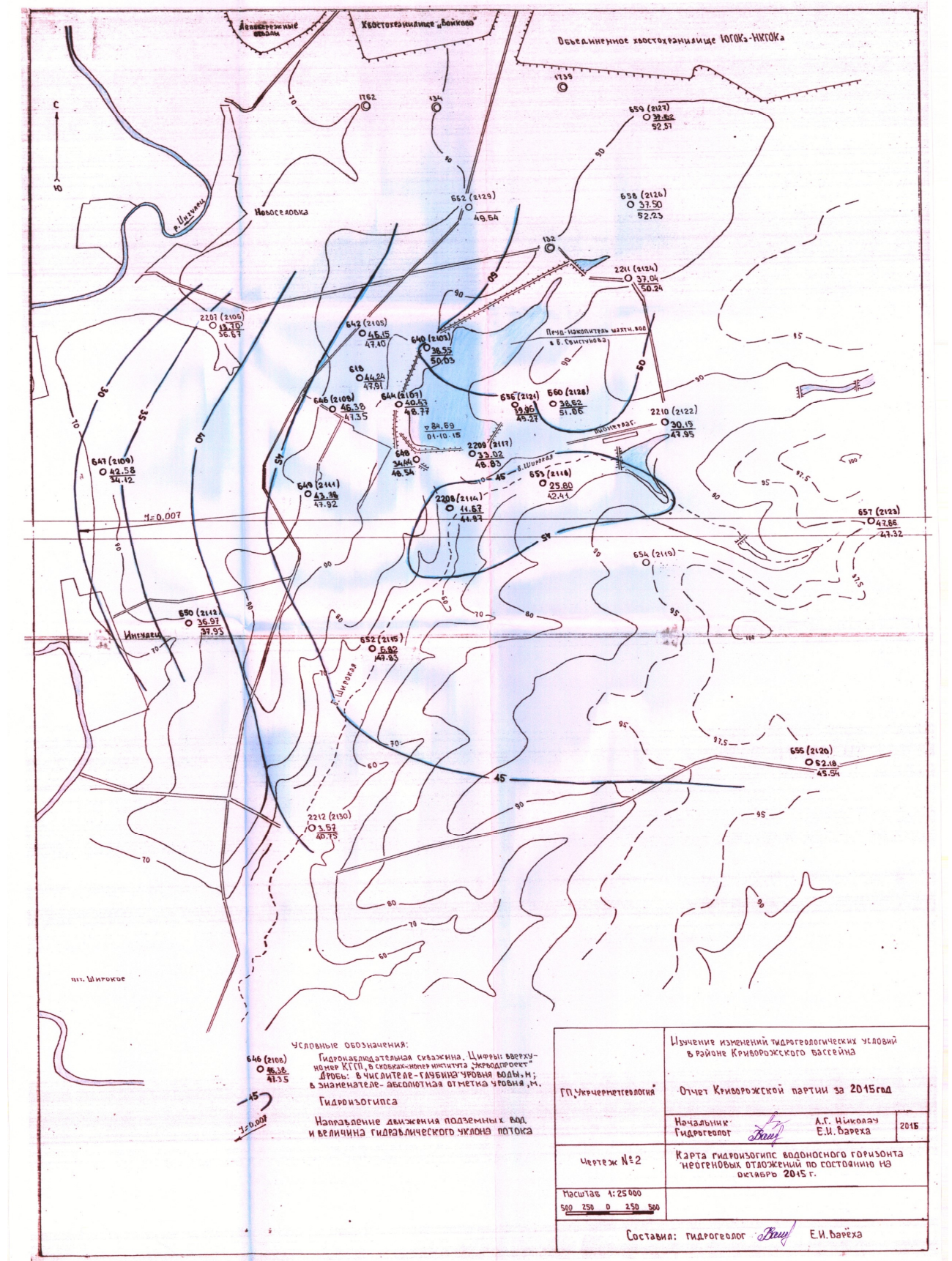


Рис. 2. Карта гідроізогіпс водоносного горизонту неогенових відкладень навколо ставка-накопичувача у б. Свистунова (станом на 2015 р.) [1]

3.1.2 Статистичний аналіз показників гідрогеологічного режиму.

Для зручності аналізу даних моніторингу та дотримання системного підходу було виділено 5 груп свердловин спостережної мережі в зоні впливу ставка-накопичувача залежно від розташування свердловин та особливостей течії підземних вод у сарматському горизонті неогенових відкладень (рис. 1).

1. Свердловини, що знаходяться у «ближній зоні» ставка-накопичувача на відстані до 200 м від його контуру: № 640, 644, 648, 656 та 2209.

2. Свердловини, що знаходяться на відстані 500-1500 м від контуру ставка-накопичувача (як правило, другі свердловини у профілях від ставка-накопичувача за відстанню) у південно-західному напрямку, переважно за пониженням рельєфу уздовж тальвегу б. Широка: №618, 642, 646, 649, та 653 та 2208.

3. Свердловини, віддалені від контуру ставка-накопичувача на 2-3 км на захід та північний захід – у напрямку розвантаження водоносного горизонту в р. Інгулець: № 647, 650, 662, 2207.

4. Свердловини, що знаходяться на значній відстані (2,5-5 км) від контуру ставка-накопичувача у південному напрямку у бік вододільного плато: № 652, 654, 655, 657, та 2212.

5. Свердловини, віддалені на 0,5-2 км від контуру ставка-накопичувача у східному та північно-східному напрямку, переважно на більш високих позначках рельєфу з більш високими рівнями підземних вод: № 658, 659, 660, 2210 та 2211.

Аналіз коливань рівня у спостережних свердловинах за період 2007-2017 рр. (рис. 3-7, табл. 1) свідчить про багаторічний тренд повільного зниження рівня води, що відбувається у більшості свердловин режимної мережі (22 з 25). Середня швидкість зниження рівня варіює в діапазоні від 0,3 до 1,7 см/міс, при цьому найбільше зниження відбулося у свердловині №660, що розташована на схід від ставка-накопичувача у бік вододілу. Всі тренди зниження рівня води є статистично значущими, що підтверджується критерієм Фішера достовірності рівняння лінійної регресії [2] з рівнем значущості 0,05. До того ж, найбільш високі рівні води зафіксовані на початку 2007 р, найнижчі – восени 2017 р.

Незначне зростання рівня спостерігалось лише в свердловинах №655 та 657, а зростання рівня у свердловині №2212 є нестійким, зокрема, через значні коливання рівня та невисоку достовірність середньорічного тренду.

Таким чином, навіть в умовах постійного додаткового живлення підземних вод фільтраційними втратами зі ставка-накопичувача за останнє десятиріччя відбувається повільне зниження рівня води у горизонті неогенових відкладень. У зоні впливу об'єкту в цілому відсутні тренди підйому підземних та ґрунтових вод та розвитку підтоплення.

Тенденції стабілізації і зниження рівня підземних вод на території навколо ставка-накопичувача можна також пояснити обмеженим об'ємом фільтраційних втрат зі ставка-накопичувача та стабільними значеннями опадів у холодний період, які дають переважну частину інфільтраційного живлення підземних вод на прилеглий території.

Колівання рівня води має сезонний характер, найбільш високі рівні спостерігаються у зимовий період, найбільш низькі – влітку. Середні річні амплітуди коливань рівня води у свердловинах змінюються в діапазоні від 0,24 м до 1,03 м при середньому значенні 0,41 м для всіх 25 свердловин. Найбільш стабільні рівні води з максимальною річною амплітудою до 0,3 м спостерігаються у св. №647, 650, 657, 659, 662, 2207 та 2210, що знаходяться на відстані 2-4 км від контуру ставка-накопичувача у різних напрямках. Найбільш нестабільні рівні води (з амплітудою понад 0,78 м у рік) у свердловинах №640 та 660, що знаходяться достатньо близько

від об'єкту (250 м та 700 м відповідно). Нестабільність рівня у св. №2212, що знаходиться на відстані 4,5 км від ставка-накопичувача, викликана епізодичними різкими змінами у 2007-2008 та у 2011 рр. з амплітудою 5-7 м та 15 м відповідно, що, ймовірно, не пов'язані з експлуатацією ставка-накопичувача.

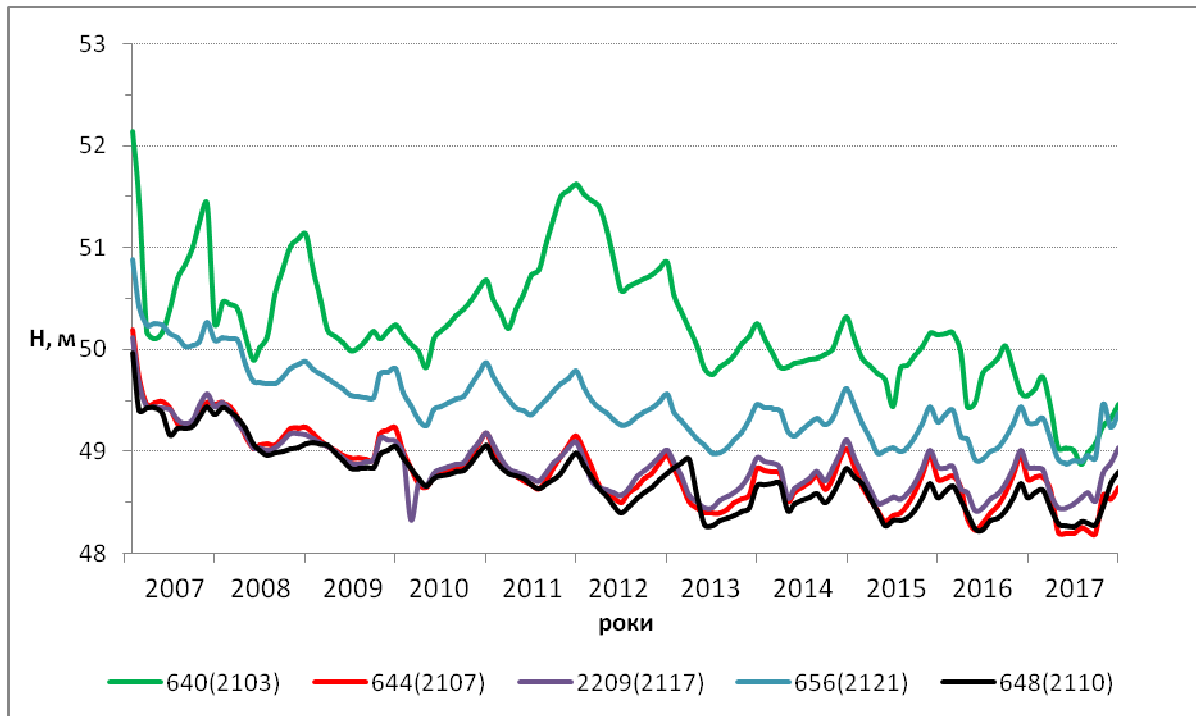


Рис. 3. Зміна рівня підземних вод водонасного горизонту неогенових відкладень для свердловин групи «1» у «ближній зоні» ставка-накопичувача

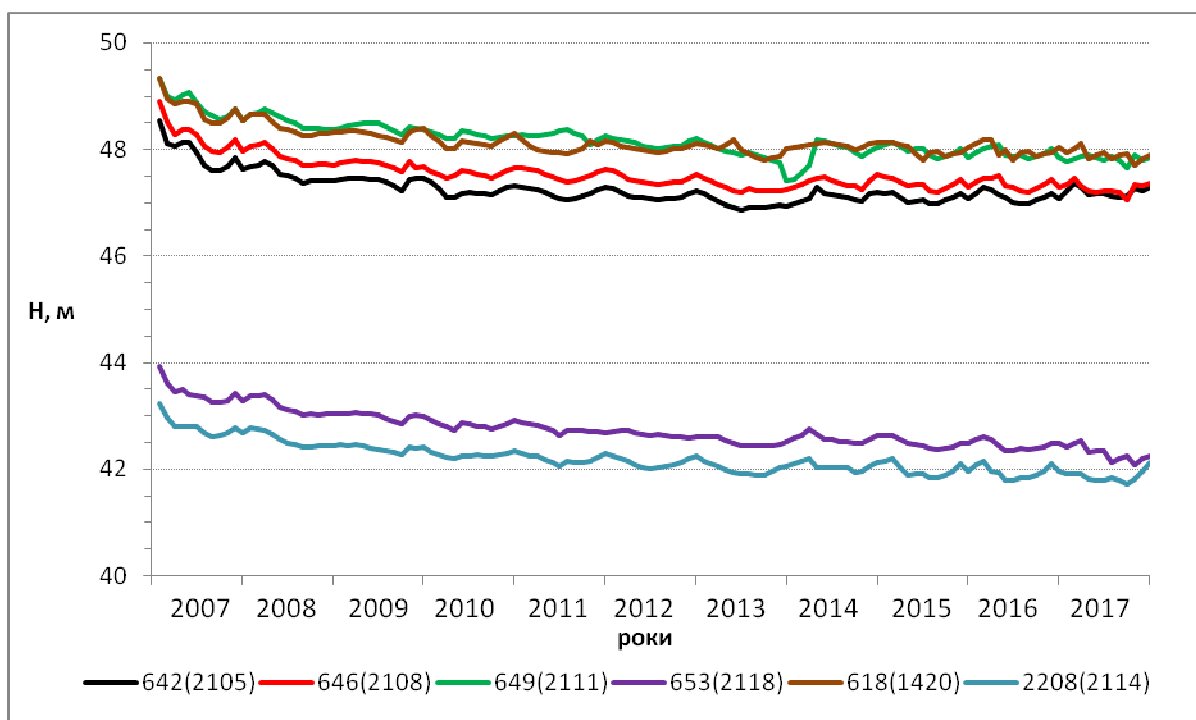


Рис. 4. Зміна рівня підземних вод водонасного горизонту неогенових відкладень для свердловин групи «2»

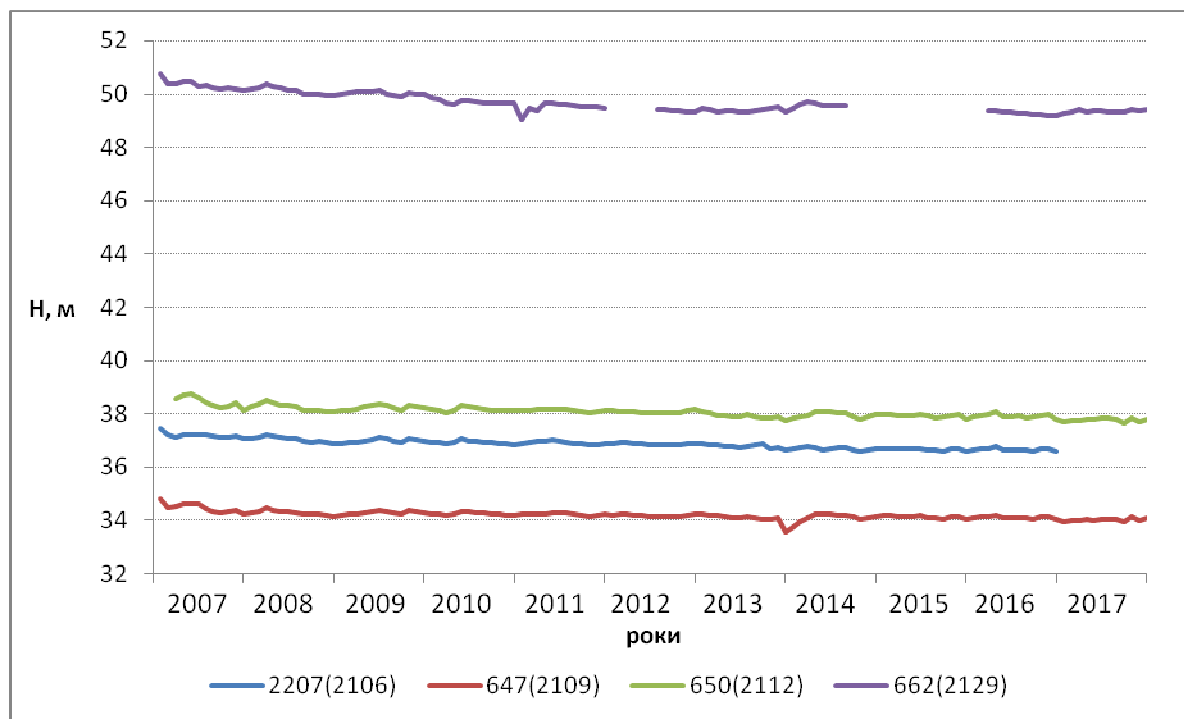


Рис. 5. Зміна рівня підземних вод водоносного горизонту неогенових відкладень для свердловин групи «3»

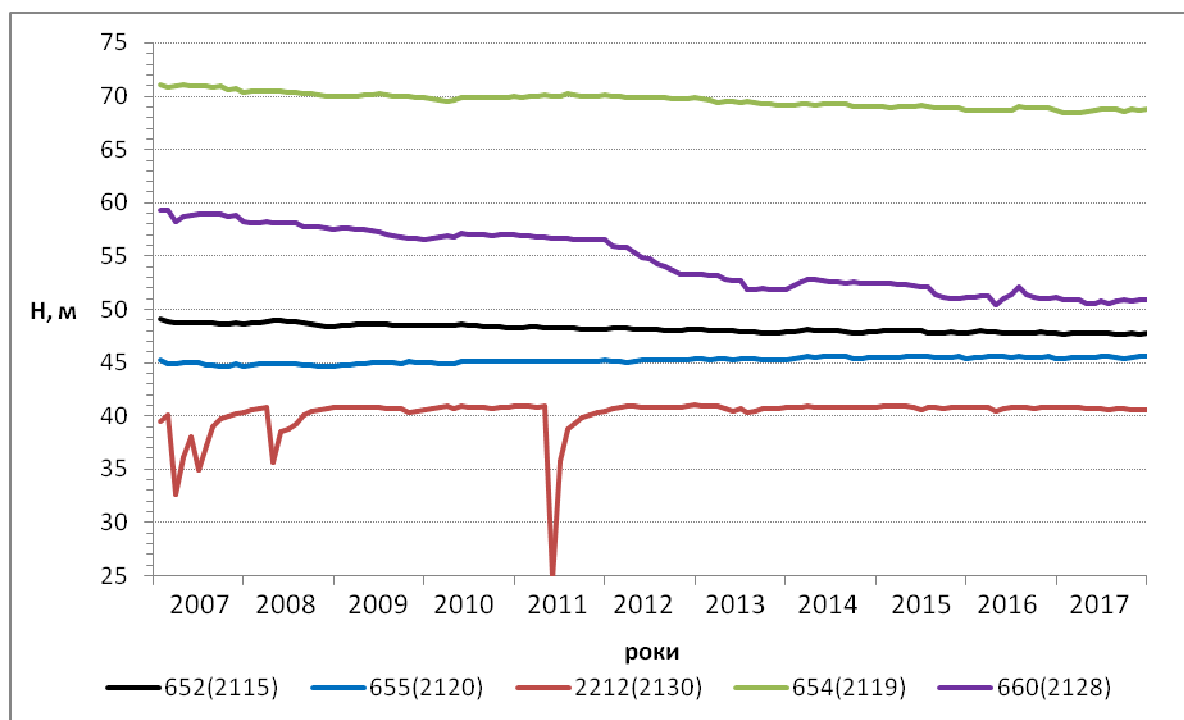


Рис. 6. Зміна рівня підземних вод водоносного горизонту неогенових відкладень для свердловин групи «4»

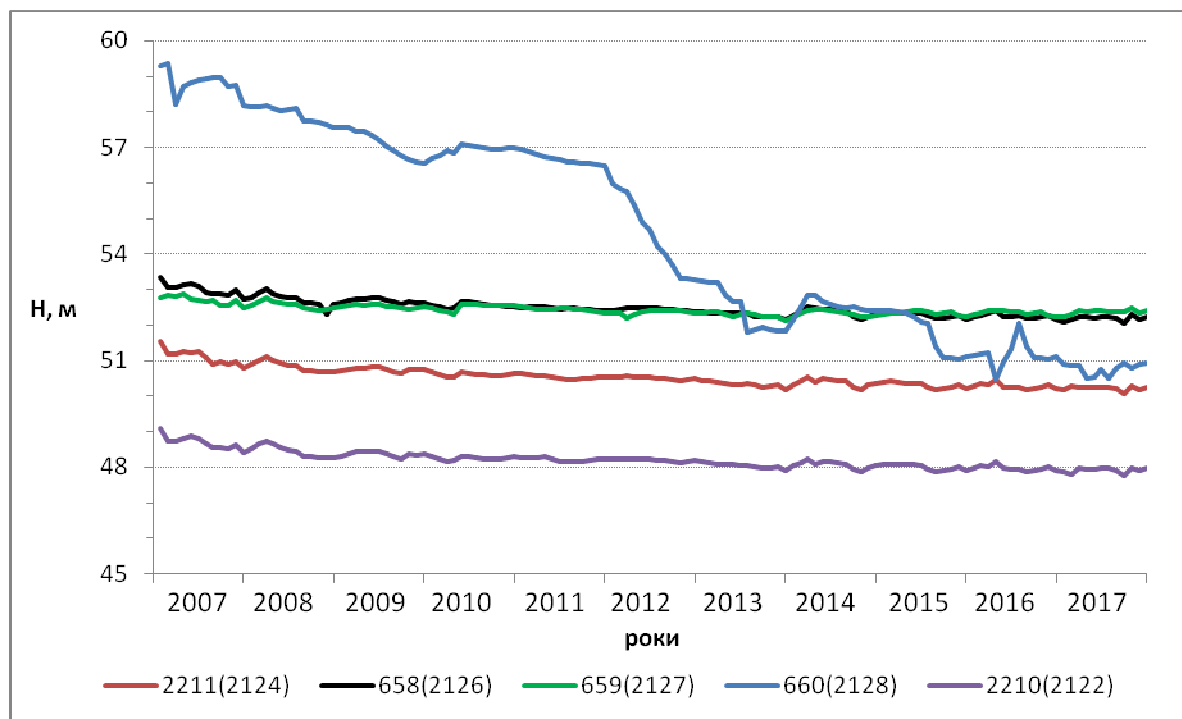


Рис. 7. Зміна рівня підземних вод водоносного горизонту неогенових відкладень для свердловин групи «5»

3.1.3 Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрогеологічний режим.

Аналіз середньорічних амплітуд коливань рівня води ΔH_c в горизонті неогенових відкладів за 2007-2017 рр. свідчить про те, що максимальні коливання відбуваються в зоні навколо ставка-накопичувача на відстані до 600 м від його контуру. З восьми спостережних свердловин, у яких ΔH_c вище за середнє значення 0,41 м, шість свердловин знаходиться в цій зоні, приуроченої до купола рівня води у горизонті сарматських відкладень (рис. 2).

Амплітуда коливань зменшується обернено пропорційно відстані від контуру ставка-накопичувача. За виключенням свердловини №2212 на відстані понад 4,5 км, де коливання рівня води, вочевидь, не пов'язані з коливаннями у ставку-накопичувачу, спостерігається тренд зменшення ΔH_c з віддаленням від контуру ставка-накопичувача (рис. 8). Статистична значущість тренду знаходиться на межі достовірності: за критерієм Фішера з рівнем значущості 10% значення $F = 1,717$ не перевищує критичне для вибірки обсягом 24 $F_{23,22,0.1} = 1,737$, але дуже близько до нього.

Пряма кореляція між рівнем води у ставку-накопичувачу та у спостережних свердловинах не підтверджується. Статистично достовірні коефіцієнти кореляції з рівнем значущості 5% за критерієм Стюдента, встановлені для часових рядів рівня води у ставку-накопичувачу та свердловинах №646, 647, 649, 650, 652, 655, 658, 618, 2207, 2210 за період 2008-2017 рр., є від'ємними, і лише для свердловини №2209 – позитивним.

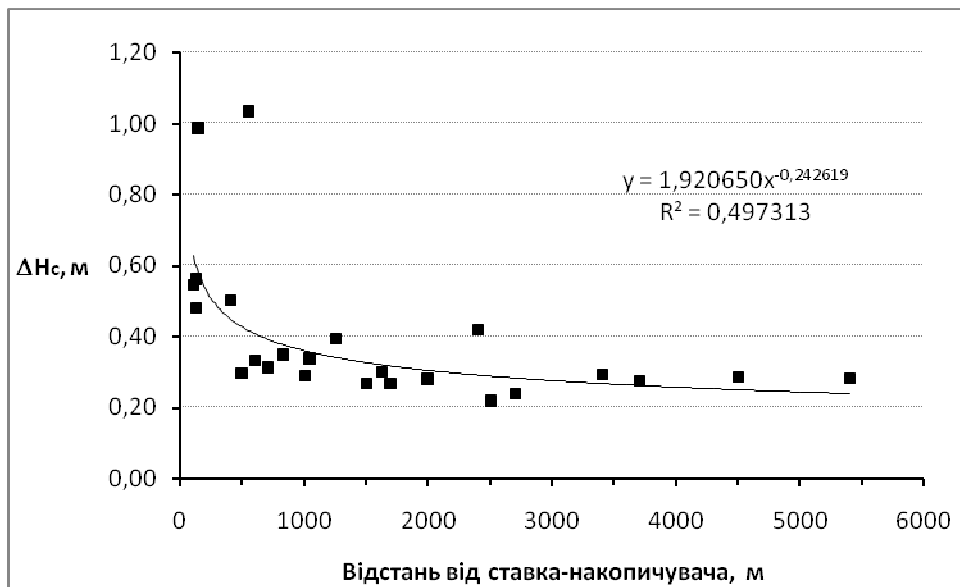


Рис. 8. Зміна середньорічних амплітуд коливань рівня води ΔH_c у свердловинах за 2007-2017 рр. залежно від відстані від ставка-накопичувача

Якщо врахувати затримку у часі між зростанням рівня води у ставку-накопичувачу та у свердловинах, то картина змінюється. Статистично достовірні коефіцієнти кореляції, що отримані за тим же критерієм для рівня води у ставку-накопичувачу та рівнем води у свердловинах з двомісячною затримкою, є позитивними для свердловин поблизу ставка-накопичувача №618, 644, 656, 2209 і віддаленої св. №2212 та від'ємними для віддалених св. №647, 649, 650 і свердловин, розташованих уверх за течією підземних вод – №658, 659. Для всіх інших свердловин кореляція відсутня.

Таким чином, на основі статистичного аналізу можна стверджувати, що гідродинамічний вплив коливань рівня води у ставку-накопичувачу на коливання рівня підземних вод поширюється на зону до 600 м у напрямку до р. Інгулець (св. №618, 644), біля дамби у бік б. Широка (св. №2209) та на схід (св. №656), де рівні води реагують на зростання рівня води у ставку-накопичувачу з двомісячною затримкою в часі.

Слід зважати на те, що максимальні рівні підземних вод у всіх свердловинах спостерігаються на початку року, що пов'язано із сезонним збільшенням інфільтрації через низьку випаровуваність у холодний сезон.

Табл.1. Статистичні оцінки параметрів рівневого режиму неогенового горизонту в зоні впливу ставка-накопичувача у б. Свистунова за даними моніторингу протягом 2007-2017 рр.

№ свердловини		Абс. позначка рівня води H , м			Річна амплітуда рівня ΔH , м			Зміна рівня води за період спостережень, м	Показники зміни рівня води	
T	по КГП	H_{min} , м, (міс, рік)	H_{max} , м, (міс, рік)	H_{av} , м	ΔH_{min} , м, рік,	ΔH_{max} , м, рік	ΔH_{av} , м		Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2
2103 ^B	640	48.87 (VII, 2017)	52.14 (I, 2007)	50.24	0.49 (2014)	2.03 (2007)	0.98	-2.68	$H = -0.0097t + 50.882$	0.379
2105 ^B	642	46.85 (VI, 2013)	48.54 (I, 2007)	47.26	0.2 (2012)	0.94 (2007)	0.34	-1.26	$H = -0.0051t + 47.598$	0.4742
2106 ^B	2207	36.58 (XII, 2015)	37.45 (I, 2007)	36.88	0.12 (2012)	0.38 (2007)	0.22	-0.87	$H = -0.0048t + 37.165$	0.8533
2107 ^B	644	48.19 (IX, 2017)	50.19 (I, 2007)	48.83	0.31 (2009)	0.94 (2007)	0.56	-1.54	$H = -0.0073t + 49.313$	0.6305
2108 ^B	646	47.06 (IX, 2017)	48.90 (I, 2007)	47.54	0.2 (2009)	0.95 (2007)	0.35	-1.53	$H = -0.0066t + 47.978$	0.6697
2109 ^B	647	33.55 (XII, 2017)	34.80 (I, 2007)	34.20	0.09 (2012)	0.67 (2013)	0.27	-0.69	$H = -0.003t + 34.396$	0.5567
2111 ^B	649	47.40 (XII, 2013)	49.33 (I, 2007)	48.18	0.15 (2010)	0.8 (2007)	0.39	-1.48	$H = -0.0075t + 48.676$	0.7511
2112 ^B	650	37.64 (IX, 2017)	38.75 (V, 2007)	38.07	0.14 (2012)	0.61 (2007)	0.29	-0.76	$H = -0.0047t + 38.383$	0.7507
2114 ^B	2208	41.73	43.23	42.20	0.15	0.62	0.31	-1.10	$H = -0.0068t + 42.646$	0.7957

№ свердловини		Абс. позначка рівня води H , м			Річна амплітуда рівня ΔH , м			Зміна рівня води за період спостережень, м	Показники зміни рівня води	
Т	по КГП	H_{min} , м, (міс, рік)	H_{max} , м, (міс, рік)	H_{av} , м	ΔH_{min} , м, рік	ΔH_{max} , м, рік	ΔH_{av} , м		Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2
		(IX, 2017)	(I, 2007)		(2010)	(2007)				
2115 ^В	652	47.61 (IX, 2017)	49.05 (I, 2007)	48.19	0.16 (2009)	0.56 (2008)	0.30	-1.31	$H = -0.009t + 48.79$	0.9099
2117 ^В	2209	48.33 (II, 2010)	50.12 (I, 2007)	48.88	0.26 (2009)	0.85 (2010)	0.55	-1.08	$H = -0.0054t + 49.238$	0.4846
2118 ^В	653	42.09 (T, 2017)	43.94 (I, 2007)	42.74	0.14 (2012)	0.69 (2007)	0.30	-1.68	$H = -0.0082t + 43.287$	0.8548
2119 ^В	654	68.40 (I, 2017)	71.01 (I, 2007)	69.60	0.26 (2011)	0.67 (2007)	0.42	-2.24	$H = -0.0168t + 70.719$	0.9068
2120 ^В	655	44.59 (XII, 2007)	45.65 (VI, 2015)	45.21	0.15 (2011)	0.63 (2007)	0.28	0.41	$H = 0.0067t + 44.767$	0.8359
2121 ^В	656	48.88 (V, 2017)	50.88 (I, 2007)	49.48	0.28 (2009)	0.85 (2007)	0.50	-1.51	$H = -0.0079t + 50.004$	0.681
2122 ^В	2210	47.77 (IX, 2017)	49.11 (I, 2007)	48.20	0.11 (2012)	0.7 (2007)	0.28	-1.13	$H = -0.0057t + 48.578$	0.7963
2123 ^В	657	46.63 (XII, 2007)	47.51 (IV, 2016)	47.12	0.18 (2012)	0.67 (2007)	0.29	0.09	$H = -0.0067t + 50.973$	0.8241
2124 ^В	2211	50.08 (IX, 2017)	51.55 (I, 2007)	50.53	0.13 (2012)	0.75 (2007)	0.29	-1.32	$H = -0.0067t + 50.973$	0.8241

№ свердловини		Абс. позначка рівня води H , м			Річна амплітуда рівня ΔH , м			Зміна рівня води за період спостережень, м	Показники зміни рівня води	
Т	по КГТП	H_{min} , м, (міс, рік)	H_{max} , м, (міс, рік)	H_{av} , м	ΔH_{min} , м, рік,	ΔH_{max} , м, рік	ΔH_{av} , м		Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2
2126 ^В	658	52.06 (IX, 2017)	53.36 (I, 2007)	52.47	0.11 (2012)	0.62 (2007)	0.27	-1.12	$H = -0.0059t + 52.868$	0.7888
2128 ^В	660	50.46 (IV, 2016)	59.34 (II, 2007)	54.60	0.39 (2010)	2.71 (2012)	1.03	-8.36	$H = -0.0728t + 59.44$	0.9399
2129 ^В	662	49.03 (I, 2011)	50.74 (I, 2007)	49.69	0.08 (2012)	0.61 (2009)	0.27	-1.32	$H = -0.0082t + 50.185$	0.7445
2130 ^В	2212	24.74 (V, 2011)	41.00 (XII, 2012)	40.22	0.09 (2014)	4.53 (2008)	0.78	1.11	$H = 0.0147t + 39.242$	0.0947
1420 ^В	618	47.70 (T, 2017)	49.33 (I, 2007)	48.14	0.16 (2014)	0.83 (2007)	0.33	-1.44	$H = -0.0055t + 48.511$	0.6002
2110 ^В	648	48.23 (VI, 2016)	49.97 (I, 2007)	48.75	0.26 (2009)	0.81 (2007)	0.48	-1.17	$H = -0.0072t + 49.226$	0.6931
2127 ^В	659	52.12 (XII, 2013)	52.86 (IV, 2007)	52.43	0.12 (2009)	0.38 (2007)	0.24	-0.35	$H = -0.0027t + 52.608$	0.5391

Рівняння тренду має вигляд $H = a \cdot t + b$, де H – рівень води, м; t – час, місяців; a і b – коефіцієнти.

3.2 Аналіз статистичних даних про вміст характерних забруднюючих речовин у підземних водах в зоні впливу ставка-накопичувача

3.2.1 Характеристика гідрохімічного режиму

При характеристиці гідрохімічного режиму даної території слід враховувати такі обставини.

1. Природний гідрохімічний режим підземних вод на території розташування ставка-накопичувача зазнав суттєвих змін з часу розміщення ставка-накопичувача та сусідніх хвостосховищ.

2. Природний фон мінералізації та вміст інших компонентів хімічного складу підземних вод (сульфати, хлориди тощо) на даній території навіть без техногенного впливу є підвищеним порівняно з регіонами України, розташованими на північ.

Вміст основних компонентів у свердловинах, що розкривають четвертинний горизонт, суттєво не змінювався протягом періоду спостережень за 2007-2017 рр. Ставок-накопичувач фактично впливає на якість підземних вод лише у водоносному горизонті неогенових відкладів.

За даними моніторингу [1], в районі ставка-накопичувача у б. Свистунова простежується гідрохімічна зональність підземних вод горизонту неогенових відкладів, обумовлена живленням фільтраційними втратами води зі ставка-накопичувача, що має хлоридно-натрієво-магнієвий склад (рис. 9).

Перша зона, що знаходиться між контуром ставка-накопичувача і поширюється на захід і південь від нього на кілька сотень метрів, включає води хлоридно-натрієво-магнієвого і натрієво-кальцієвого складу з мінералізацією від 13,0 до 34,2 г/дм³. Більш високі значення мінералізації спостерігаються у свердловинах поблизу ставка-накопичувача. Друга зона включає води змішаного складу: хлоридно-сульфатно-натрієво-магнієві та магнієво-натрієві; хлоридно-кальцієво-натрієві та магнієво-натрієві; хлоридно-гідрокарбонатно-магнієві. Мінералізація їх змінюється від 0,4 до 9,3 г/дм³. Найнижчі значення мінералізації спостерігаються на значних відстанях (понад 3 км) від ставка-накопичувача.

Підземні води в районі ставка-накопичувача відносяться до прісних, слабосолонуватих, сильносолонуватих і солоних. На відстанях до 2 км від контуру ставка-накопичувача поширені переважно солоні (мінералізація 10,0-27,4 г/л) і сильносолонуваті води (мінералізація 3,0-10,0 г/л). З віддаленням від ставка-накопичувача ступінь солоності вод зменшується. Слабосолонуваті води з мінералізацією 1-3 г/л обрамовують сильносолонуваті, вони поширені на південь та південний схід від ставка-накопичувача. Прісні води з мінералізацією 0,4 г/дм³ спостерігаються на півдні (св. №2212).

Гідрохімічний режим території на північ від ставка-накопичувача, як і гідродинамічний режим, також зазнає впливу хвостосховищ «Войкове» та «Об'єднане», де використовується мінералізована вода. Відсутність даних по мінералізації та хімічному складу вод у цих хвостосховищах і по св. №134, 1739, 1762, а також даних об'єктового моніторингу ПАТ «Південий ГЗК» на відстань до 1000 м на південь та південний схід у напрямку до ставка-накопичувача, не дозволяє кількісно оцінити та відокремити вплив хвостосховищ «Войкове» та «Об'єднане» ПівдГЗК та ГЗК «АрселорМіттал Кривий Ріг» на формування гідрохімічного режиму неогенового водоносного горизонту.

Вміст забруднюючих речовин у підземних водах в зоні впливу ставка-накопичувача визначається переважно хімічним складом шахтних вод, які акумулюються в ставку-накопичувачу.

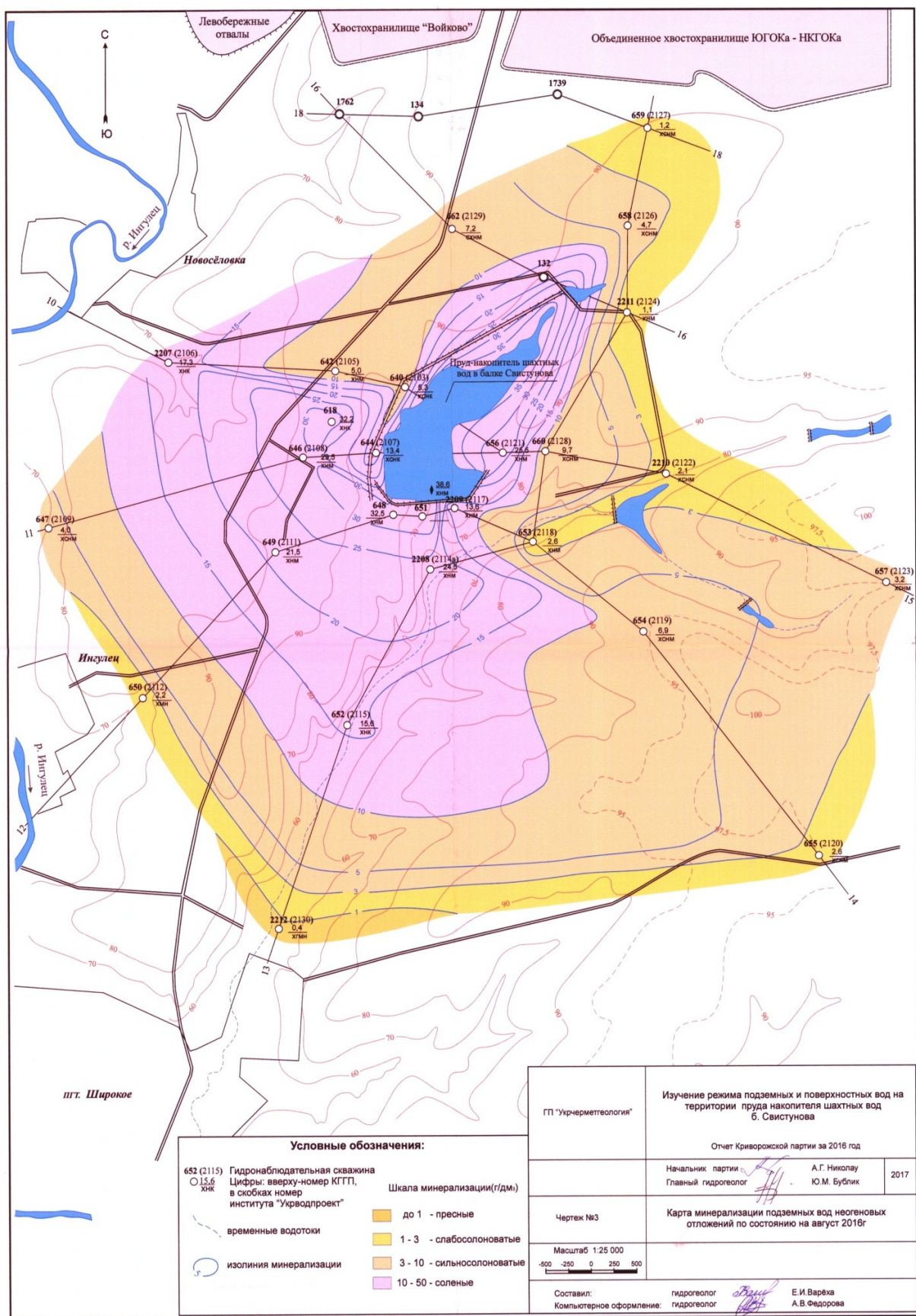


Рис. 9. Карта мінералізації підземних вод у горизонті неогенових відкладів навколо ставка-накопичувача у б. Свистунова (станом на 2016 р.) [1]

Протягом 2007-2017 рр. мінералізація води у ставку-накопичувачу змінювалася у діапазоні від 25 до 37,7 г/л (рис. 10) з тенденцією до повільного зростання. Середнє значення мінералізації води у ставку-накопичувачу за цей період становило 32,8 г/л, що практично співпадає з середнім значенням мінералізації шахтних вод, які подаються до ставка-накопичувача (32.7 г/л).



Рис.10. Зміна мінералізації вод у ставку-накопичувачу та у водах, що подаються до нього

Далі наведено результати статистичного аналізу основних показників, що перевищують фонові значення у підземних водах і характеризують вплив ставка-накопичувача на якість підземних вод горизонту неогенових відкладів.

Застосування показників ГДК до кількісної характеристики забруднення підземних вод на території розташування ставка-накопичувача є некоректним через природні фонові значення мінералізації, що перевищують ГДК. З цієї причини на даній території відсутні офіційні водозабори підземних вод для господарсько-питного водопостачання, у тому числі з горизонту неогенових відкладів. Тому для кількісної оцінки впливу ставка-накопичувача на склад підземних вод слід використовувати місцеві фонові значення мінералізації та окремих компонентів на тих ділянках, де техногенний вплив мінімальний.

Місцеві фонові значення можна оцінити за даними спостережень на межі зони гідрохімічного впливу ставка-накопичувача (рис. 8). До відповідних контрольних точок можна віднести свердловини №647, 650, 653, 655, 657, 658, 659, 2211, 2212, середнє значення мінералізації в яких за 2007-2017 рр. (2,4 г/л) добре узгоджується з діапазонами мінералізації відповідного водоносного горизонту, що наведені у [3, 4, 5, 6]. При цьому використання такого підходу більш обґрунтоване, ніж використання діапазонних оцінок з літературних джерел, оскільки отримана оцінка стосується безпосередньо ділянки досліджень.

3.2.2 Мінералізація

Аналіз результатів статистичної обробки даних моніторингу водоносного горизонту у неогенових відкладах за 2007-2017 рр.(рис. 11-15, табл. 2) дозволяє зробити такі висновки.

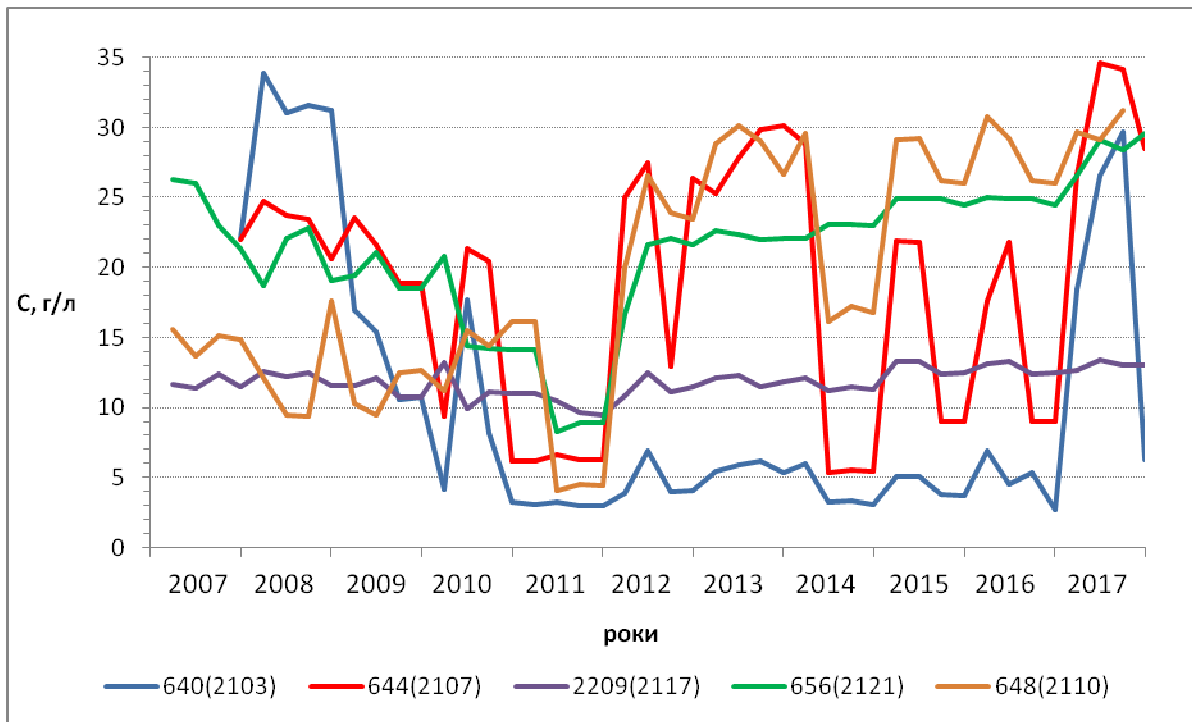


Рис. 11. Зміна мінералізації підземних вод горизонту неогенових відкладень у свердловинах «ближньої зони» ставка-накопичувача (групи «1»)

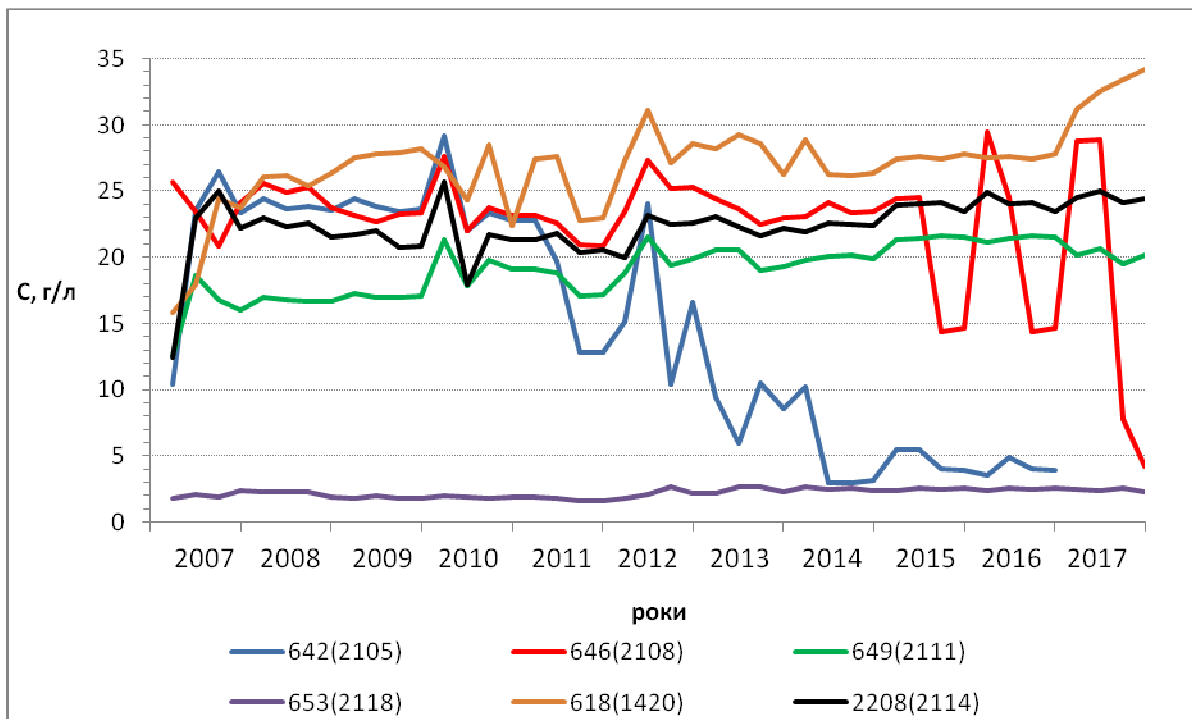


Рис. 12. Зміна мінералізації підземних вод горизонту неогенових відкладень у свердловинах групи «2»

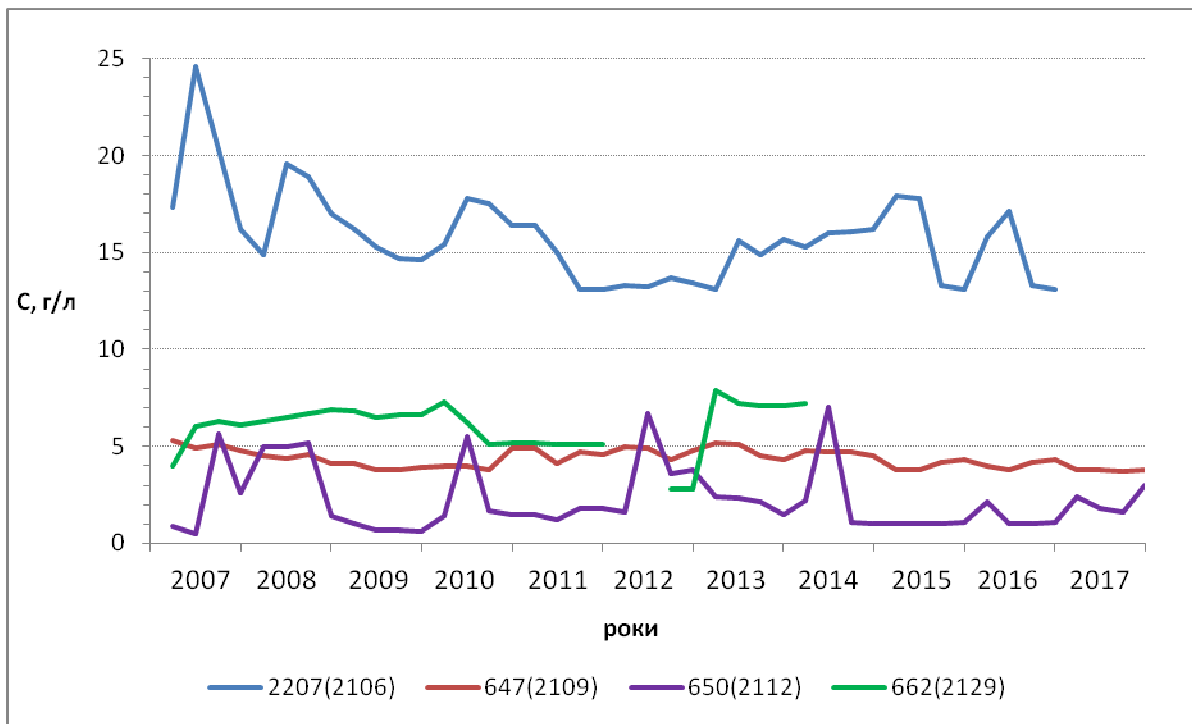


Рис. 13. Зміна мінералізації підземних вод горизонту неогенових відкладень у свердловинах групи «3»

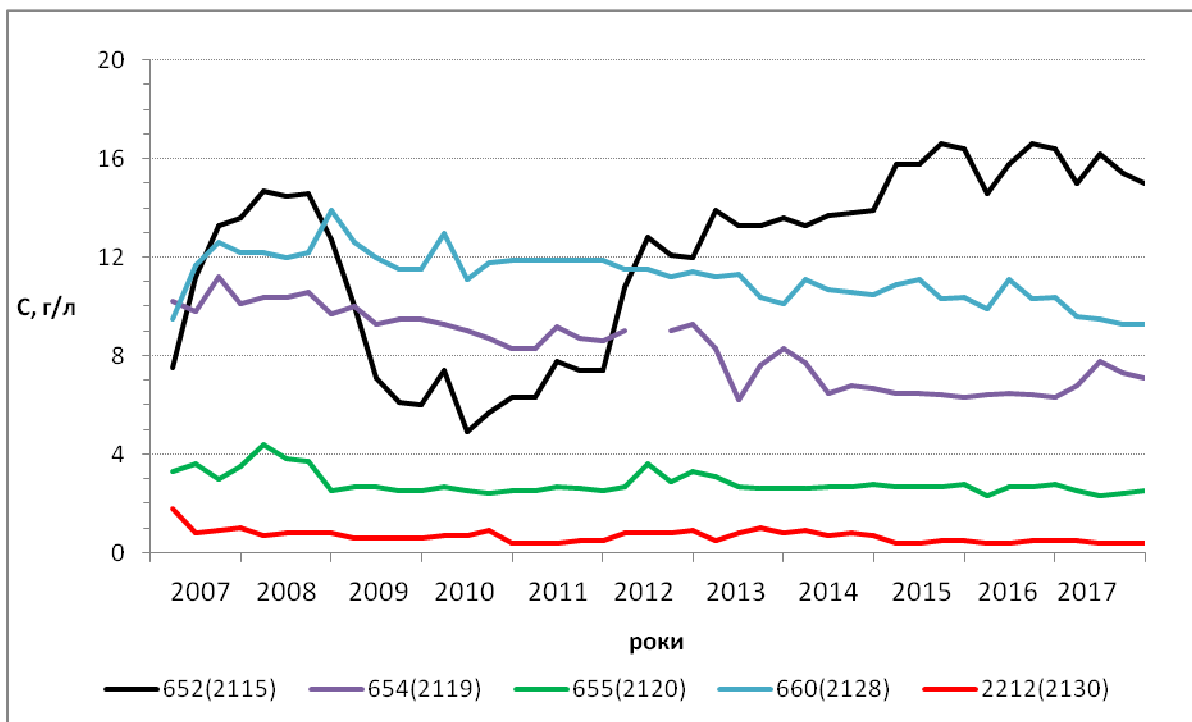


Рис. 14. Зміна мінералізації підземних вод горизонту неогенових відкладень у свердловинах групи «4»

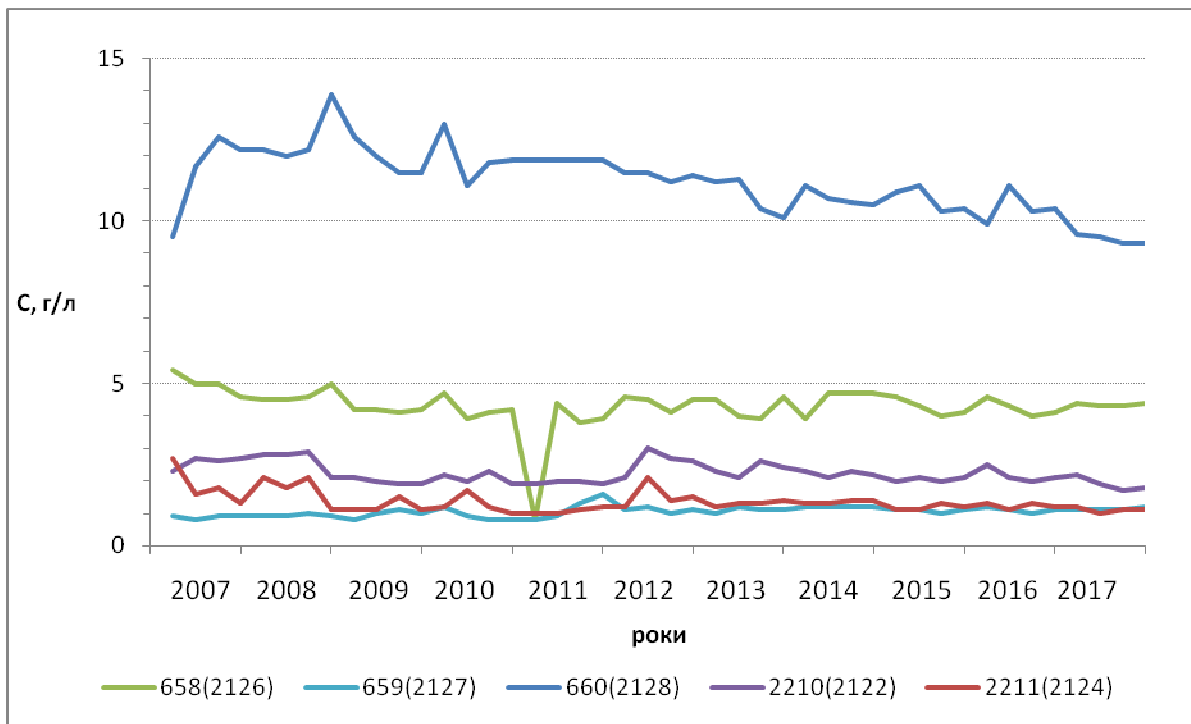


Рис. 15. Зміна мінералізації підземних вод горизонту неогенових відкладень у свердловинах групи «5»

1. Мінералізація підземних вод у зоні впливу ставка-накопичувача зростає від фонового значення на відстані 2-5 км від ставка-накопичувача 11разів на ділянках поблизу його контуру.

2. Загальний тренд зміни мінералізації відсутній: у 10 свердловинах з 25 спостерігається тренд на її підвищення, у 15 – на її зниження. Для деяких свердловин характерні значні коливання мінералізації: коефіцієнт варіації у 7 свердловинах знаходиться у діапазоні від 30 до 93%, і лише у 5 свердловинах значення мінералізації відносно стабільні з коефіцієнтом варіації до 10%.

3. Згідно оцінок за критерієм Фішера, статистично достовірними можна вважати рівняння лінійної регресії лише у 8 свердловинах з 25, зокрема, у св. №618, 642, 648, 649, 652, 653, 654, 660 (табл. 2). З них у п'яти свердловинах спостерігається зростання мінералізації, у трьох – її зменшення. У більшості свердловин через великі коливання мінералізації протягом періоду спостережень рівняння регресії не є статистично значущими, тобто не можна однозначно стверджувати про існування чіткої тенденції.

4. Тренди на зростання мінералізації більш характерні для зони поблизу ставка-накопичувача та на відстані до 1,5 км від нього (групи свердловин «1» і «2»). У інших свердловинах, переважно на значних відстанях від контуру ставка-накопичувача, переважають тренди зменшення мінералізації. Отже, за останні роки контури зони підвищеної мінералізації навколо ставка-накопичувача залишалися стабільними.

5. Найменші значення мінералізації за період з 2007 р. по 2017 р. спостерігалися у 2010-2011 рр., коли мінімальні значення були досягнуті в 11 свердловинах з 25. Максимальні значення мінералізації за той же період фіксувалися у 2007-2008 рр. в 10 свердловинах та у 2016-2017 рр. у 8 свердловинах.

Спираючись на дані режимних спостережень за 2007-2017 рр. можна вважати ореол підвищеної мінералізації у водоносному горизонті неогенових відкладень відносно стабільним.

Табл. 2. Статистичні оцінки мінералізації неогенового горизонту в зоні впливу ставка-накопичувача у б. Свистунова за даними моніторингу протягом 2007-2017 рр.

№ свердловини		Мінералізація C , г/л			Зміна мінералізації C за період спостережень		Показники зміни мінералізації		
T	по КГГП	C_{min} , г/л, (кварт, рік)	C_{max} , г/л, (кварт, рік)	C_{av} , г/л	Варіація, %	Зміна C , г/л	Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2	Рівень значущості за критерієм Фішера
1 група свердловин									
2103 ^B	640	2.7 (IV, 2016)	33.9 (I, 2008)	10.8	93.0	-20.9	$C = -0.3391t + 18.717$	0.1742	Ні
2107 ^B	644	5.3 (II, 2009)	34.6 (II, 2017)	19.0	47.4	2.2	$C = 0.0151t + 18.687$	0.0004	Ні
2121 ^B	656	8.3 (II, 2011)	29.6 (IV, 2017)	21.3	23.9	3.3	$C = 0.1785t + 17.238$	0.2046	Ні
2110 ^B	648	4.1 (II, 2011)	31.2 (III, 2017)	19.6	42.1	7.5	$C = 0.4962t + 8.6262$	0.5575	Так, 0,01
2117 ^B	2209	9.5 (IV, 2011)	13.4 (II, 2017)	11.9	8.5	1.3	$C = 0.0338t + 11.089$	0.1876	Ні
2 група свердловин									
1420 ^B	618	15.8 (I, 2007)	34.2 (IV, 2017)	27.0	12.3	18.4	$C = 0.1644t + 23.272$	0.4038	Так, 0,1
2105 ^B	642	3.0 (III, 2014)	29.2 (I, 2010)	14.9	59.2	-6.5	$C = -0.6489t + 28.2$	0.7386	Так, 0,001
2108 ^B	646	4.2 (IV, 2017)	29.5 (I, 2016)	22.5	22.2	-21.5	$C = -0.1462t + 25.806$	0.1415	Ні

№ свердловини		Мінералізація C , г/л			Зміна мінералізації За період спостережень		Показники зміни мінералізації		
T	по КГГП	C_{min} , г/л, (кварт, рік)	C_{max} , г/л, (кварт, рік)	C_{av} , г/л	Варіація, %	Зміна C , г/л	Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2	Рівень значущості за критерієм Фішера
2111 ^B	649	12.5 (I, 2007)	21.6 (III, 2015)	19.1	10.5	7.7	$C = 0.1239t + 16.326$	0.6263	Так, 0,05
2118 ^B	653	1.6 (III, 2011)	2.7 (III, 2013)	2.2	15.2	0.5	$C = 0.0167t + 1.8476$	0.3995	Так, 0,1
2114 ^B	2208	12.4 (I, 2007)	25.7 (I, 2010)	22.4	9.7	12.0	$C = 0.0843t + 20.505$	0.2467	Ні
3 група свердловин									
2109 ^B	647	3.7 (III, 2017)	5.3 (I, 2007)	4.4	10.7	-1.5	$C = -0.0137t + 4.6852$	0.1402	Ні
2112 ^B	650	0.5 (II, 2007)	7.0 (II, 2014)	2.3	76.2	2.1	$C = -0.0246t + 2.8031$	0.0339	Ні
2129 ^B	662	2.8 (III, 2012)	7.9 (I, 2013)	5.9	23.0	-0.6	$C = -0.0271t + 6.3184$	0.0412	Ні
2106 ^B	2207	13.1 (III, 2011)	24.6 (II, 2007)	15.8	15.1	-4.2	$C = -0.0948t + 17.748$	0.2161	Ні
4 група свердловин									
2115 ^B	652	4.9 (II, 2010)	16.6 (III, 2015)	12.1	30.5	7.5	$C = 0.17t + 8.2342$	0.3522	Так, 0,1
2119 ^B	654	6.2 (II, 2013)	11.2 (III, 2007)	8.3	17.8	-3.1	$C = -0.1024t + 10.595$	0.8096	Так, 0,001
2120 ^B	655	2.3 (I, 2016)	4.4 (I, 2008)	2.8	15.9	-0.8	$C = -0.0176t + 3.2136$	0.2523	Ні
2123 ^B	657	2.9 (III, 2009)	5.7 (I, 2007)	3.3	13.6	-2.5	$C = -0.0166t + 3.6668$	0.2192	Ні

№ свердловини		Мінералізація C , г/л			Зміна мінералізації За період спостережень		Показники зміни мінералізації		
t	по КГГП	C_{min} , г/л, (кварт, рік)	C_{max} , г/л, (кварт, рік)	C_{av} , г/л	Варіація, %	Зміна C , г/л	Рівняння лінійної регресії	Надійність тренду R^2	Рівень значущості за критерієм Фішера
2130 ^B	2212	0.4 (IV, 2010)	1.8 (I, 2007)	0.7	38.7	-1.4	$C = -0.0107t + 0.9071$	0.2851	Ні
5 група свердловин									
2126 ^B	658	0.8 (I, 2011)	5.4 (I, 2007)	4.3	14.9	-1.0	$C = -0.0065t + 4.4471$	0.0171	Ні
2127 ^B	659	0.8 (II, 2007)	1.6 (IV, 2011)	1.1	15.3	0.3	$C = 0.0064t + 0.907$	0.2583	Ні
2128 ^B	660	9.3 (III, 2017)	13.9 (IV, 2008)	11.2	9.2	-0.2	$C = -0.0593t + 12.537$	0.5492	Так, 0,01
2122 ^B	2210	1.7 (III, 2017)	3.0 (II, 2012)	2.2	14.6	-0.5	$C = -0.0101t + 2.4595$	0.1602	Ні
2124 ^B	2211	1.0 (IV, 2010)	2.7 (I, 2007)	1.4	26.4	-1.6	$C = -0.0131t + 1.6474$	0.2231	Ні
Ставок-накопичувач									
Вода у ставку-накопичувачу		25.3 (II, 2010)	38.0 (IV, 2017)	32.8	7.1	4.3	$C = 0.0892t + 30.802$	0.2405	Ні
СкидШВ		25.7 (II, 2010)	37.6 (IV, 2017)	32.7	7.4	6.2	$C = 0.174t + 28.017$	0.5395	Так, 0,05

Рівняння тренду має вигляд $C = a \cdot t + b$, де C – мінералізація, г/л; t – час, квартали; a і b – коефіцієнти.

Невизначеність щодо контурів ореолу стосується лише території на захід та північний захід від ставка-накопичувача до р. Інгулець, де мережа спостережень недостатня. Відстань між св. № 662 та 2207 у цьому напрямку перевищує 3 км, а на відповідній карті (рис. 10) мінералізація в цій зоні не підтверджена даними моніторингу. Значення мінералізації на цій ділянці вкрай важливі для оцінки впливу ставка-накопичувача на поверхневі води, оскільки середня мінералізація у св. №662 та 2207 (5,9 та 15,8 г/л відповідно) перевищує фонові значення у 2,4 та 6,6 разів.

Опосередковано мінералізацію на цій ділянці можна оцінити на основі досліджень гідрохімічного режиму р. Інгулець, що проводились у 2006-2007 рр. на замовлення інституту «Дніпродіпроводгосп» [7], зокрема, для параметрів мінералізації та витрати струмків підземних вод, які виходять на поверхню та стікають у р. Інгулець на ділянці довжиною 15,5 км уверх за течією уздовж русла, починаючи від с. Новоселівка.

За результатами цих вимірювань, мінералізація підземних вод на всій досліджуваній ділянці знаходилась у діапазоні від 5 до 15 г/л, як для нижнього відрізка між створами «IV» та «V» біля с. Новоселівка, так і між створами «I» – «IV» уверх за течією, починаючи з с. Рахмановка, де вплив ставка-накопичувача виключається через відсутність гідродинамічного зв'язку. Отже, мінералізація підземних вод, що розвантажуються до р. Інгулець біля с. Новоселівка, не перевищує мінералізацію підземних вод на більш високих за течією прибережних ділянках долини ріки (5-15 г/л). Враховуючи відносно стабільний гідрогеологічний та гідрохімічний режими навколо ставка-накопичувача за 2007-2017 рр. можна стверджувати, що мінералізація підземних вод, що розвантажувалися до р. Інгулець на ділянці біля с. Новоселівка, також залишалася стабільною протягом останнього десятиріччя.

Загальний сольовий стік на всій досліджуваній ділянці русла у [7] оцінено в діапазоні 35-98 т/добу, причому значні за витратою струмки зустрічалися між усіма створами. Прибережна ділянка біля с. Новоселівка, де потенційно може розвантажуватися частина фільтраційних вод зі ставка-накопичувача, за рівнем засоленості та сольовим стоком практично не відрізняється від інших ділянок, де вплив ставка-накопичувача відсутній. Через невизначеність гідроізогіпс та відсутність даних гідрохімічного моніторингу на північний захід від ставка-накопичувача на основі наявних даних [1, 7] достовірно оцінити сольовий стік у р. Інгулець від ставка-накопичувача неможливо. Вирішення цієї задачі потребує чисельного моделювання фільтрації та міграції солей у підземних водах при гідродинамічному зв'язку з поверхневим водотоком, та з оновленими натурними даними щодо витрати та мінералізації у струмках підземних вод біля р. Інгулець.

Далі наведені оцінки вмісту окремих компонентів у підземних водах на основі статистичного аналізу щоквартальних вимірювань хімічного складу підземних і шахтних вод. Встановлені кореляційні зв'язки між окремими компонентами представлені у табл. 3.

Коефіцієнти кореляції між показниками хімічного складу горизонту неогенових відкладень на основі вимірів у 25 свердловинах та 2 точках відбору зі ставка-накопичувача

Період відбору проб	$r_{SO_4, Min}$	$r_{hd, Min}$	$r_{hdnc, Min}$	$r_{Ca, окис}$	$r_{Fe, pH}$	r_{pH, CO_2}
22-25.03.2016 р.	0,30 / –	0,89 / +	0,88 / +	0,56 / +	–0,64 / +	–0,67 / +
29.06-01.07.2016 р.	0,19 / –	0,88 / +	0,72 / +	0,44 / +	–0,60 / +	–0,70 / +
29.08-02.09.2016 р.	0,21 / –	0,89 / +	0,69 / +	0,61 / +	–0,60 / +	–0,67 / +
22-28.11.2016 р.	0,30 / –	0,88 / +	0,77 / +	0,46 / +	–0,42 / +	–0,49 / +
20-24.03.2017 р.	0,38 / +	0,91 / +	0,81 / +	0,49 / +	–0,54 / +	–0,63 / +
23-30.06.2017 р.	0,29 / –	0,90 / +	0,81 / +	–0,17 / –	–0,36 / –	–0,66 / +
25-28.09.2017 р.	0,32 / –	0,90 / +	0,81 / +	0,50 / +	–0,52 / +	–0,59 / +
27-30.11.2017 р.	0,28 / –	0,87 / +	0,83 / +	0,40 / +	–0,44 / +	–0,46 / +

Знаками «+» та «–» показано статистичну достовірність коефіцієнту кореляції за критерієм Стьюдента з рівнем значущості 0,05.

3.2.2.1 Хлориди

Вміст хлоридів у підземних водах змінюється від 0,2 до 21,1 г/л, зростаючи від мінімуму на периферійних ділянках території до максимальних значень поблизу ставка-накопичувача, зокрема, у св. №618, 640, 644, 648. 649, 2209, 656, 2208, де вміст хлоридів становить 11-17 фонових значень, яке становить 1117 мг/л. У воді ставка-накопичувача концентрація хлоридів складає близько 22 г/л, що перевищує фонове значення у 19 разів.

Між вмістом хлоридів у воді C_{Cl} та мінералізацією підземних вод C_{min} існує пряма кореляційна залежність з достовірністю $R^2 \geq 0,99$ по всіх місцях відбору проб за останнє десятиліття. Тому просторовий розподіл і динаміка поширення хлоридів має фактично ті ж закономірності, що й мінералізація. Зважаючи на хлоридно-натрієвий тип шахтної води, підвищений вміст хлоридів у підземній воді може розглядатися як один з головних результатів і індикатор впливу ставка-накопичувача на підземні води.

3.2.2.2 Сульфати

Вміст сульфатів у підземних водах значно нижчий, ніж хлоридів, переважно до 1,4 г/л, що узгоджується з концентрацією сульфатів у ставку-накопичувачу і на скиді. Разом з тим, пряма залежність між вмістом сульфатів C_{SO_4} та мінералізацією підземних вод C_{min} не є статистично значущою: коефіцієнт кореляції між величинами C_{SO_4} та C_{min} за 2016-17 рр. змінювався від 0,19 до 0,38 і лише один раз був статистично значимим. Це пов'язано з порівняно невеликою часткою сульфатів відносно хлоридів у шахтній воді і підвищеним вмістом сульфатів у природній підземній воді.

Середній вміст сульфатів у підземних водах підвищений відносно фонового значення, яке становить 368 мг/л, як поблизу ставка-накопичувача (у св. №640 – у 2,4рази, №644 – 4,44рази, №648 – 3,2 рази, №660 – 7,2 разів), так і на значному віддаленні від нього (у св. №657 – до 2,9рази, №654 – 2,8разів, №658 – 2,7 разів).

Підвищення вмісту сульфатів на межі зони підвищеної мінералізації може бути також наслідком реакцій між водами, що фільтруються зі ставка-накопичувача, та гірськими

породами. Отже, зростання вмісту сульфатів у підземних водах може розглядатися лише як додатковий, але не головний індикатор впливу ставка-накопичувача на підземні води.

3.2.2.3 Кальцій

Вміст Са у підземних водах в зоні впливу ставка-накопичувача за останні роки знаходився у діапазоні від 10 до 1763 мг/дм³, сягаючи максимально 14,2 фонових значень, що становить 105 мг/л. Середній вміст Са підвищений відносно фонового значення у свердловинах, розташованих на південь, південний захід і захід від ставка-накопичувача: у св. №618 (у 14,2 разів), №640 (5,2 разів), №644 (8,5 разів), №646 (5,7 разів), №648 (8 разів), №649 (8,3 разів), №652 (8,6 разів), №654 (4 рази), №656 (9,7 разів), №658 (4,2 рази), №2207 (6,9 разів), №2208 (10,5 разів), №2209 (9,8 разів), що зумовлено винесенням кальцію з вапняків на шляху фільтрації вод зі ставка-накопичувача. Слід відзначити статистично достовірний прямий кореляційний зв'язок між вмістом кальцію та показником окиснюваності, що свідчить про окислювальні умови розчинення солей кальцію.

3.2.2.4 Кислотність та вміст CO₂

Показник рН у підземних водах варіює у широких межах: від дуже кислих вод з рН = 3,4-4,6 (у св. №618, 642, 656 поблизу ставка-накопичувача та №647 на захід) до лужних вод з рН = 8,3-9,3 (у св. №654, 655, 660). Просторовий тренд для рН визначити доволі важко з урахуванням мінливості цього показника у часі, але у більшості свердловин на захід від ставка-накопичувача реакція підземних вод залишалася кислою, у розташованих на південь та схід – нейтральною або лужною.

Слід відзначити статистично значущі зворотні кореляційні зв'язки між показником рН зі вмістом вільного CO₂ та вмістом заліза. Зокрема, у свердловинах з низькими показниками рН < 5 одночасно фіксується доволі високий вміст вільного CO₂ (кілька сотень – кілька тисяч мг/л), що є ознакою реакції розчинення карбонату кальцію, яка супроводжується виділенням двоокису вуглецю. Навпаки, у свердловинах з рН > 7 вміст вільного CO₂, як правило, не перевищує 1 мг/л.

3.2.2.5 Залізо

Наслідком підвищення кислотності підземних вод є зростання вмісту заліза у високих концентраціях. Якщо вміст заліза у шахтній воді, що надходить до ставка-накопичувача за останні роки (0,01-0,19 мг/л), не перевищує фонове значення 0,22 мг/л, то у св. №618, 642, 647, 656 з низьким рН він у кілька сотень разів перевищує його. Аномальні значення вмісту заліза у пробах води, не характерні для місцевого фону, можуть бути наслідком розчинення металевих елементів спостережних свердловин. Уточнення причин високих концентрацій заліза потребує додаткових досліджень. У свердловинах з нейтральною та лужною реакцією підземних вод вміст заліза знаходиться на рівні фонового значення або несуттєво перевищує його.

3.2.2.6 Жорсткість та магній

Шахтні води, що подаються до ставка-накопичувача, дуже жорсткі, їх загальна жорсткість вод становить 90-105 мг-екв/дм³, а загальна некарбонатна жорсткість лише на кілька мг-екв/дм³ менша, що перевищує фонове значення (16,4 ммоль/л) у 5,4-5,8 разів. Це повністю узгоджується з підвищенням вмістом магнію у шахтній воді (750-850 мг/л), що у 5,1-5,8 разів вище фонового значення, що становить 147 мг/л. При цьому коефіцієнт кореляції між жорсткістю та вмістом магнію становить 0,9-0,95 і є статистично значущим.

Кореляційні зв'язки між показниками жорсткості та некарбонатної жорсткості і мінералізацією статистично значущі (табл. 3), отже, закономірності, встановлені раніше для змін мінералізації у просторі та у часі з високою подібністю можуть бути перенесені й на показник жорсткості та некарбонатної жорсткості.

3.2.2.7 Нітрати

Вміст нітратів за останні 10 років у воді сарматського горизонту суттєво зменшився. Протягом 2008 р. та до середини 2009 р. вміст нітратів у воді становив 100-250 мг/л у більшості свердловин, що корегувало з високим вмістом нітратів у воді ставка-накопичувача. З другої половини 2009 р. вміст нітратів у воді знизився, причому до 2014 р. відзначалися епізодичні підвищення вмісту нітратів до 50 мг/л у 1-5 свердловинах. З 2014 р. по теперішній час вміст нітратів у підземних водах сарматського горизонту знаходиться від 1 до 8 мг/л (фонове значення 5 мг/л). Цей тренд добре корелює зі зменшенням вмісту нітратів у шахтній воді з 2009 р. до цього часу. Отже, в даний час нітратне забруднення сарматського водоносного горизонту відсутнє.

3.2.2.8 Амоній

Вміст амонію у шахтній воді сягав високих значень (до 13 мг/л) у 2008 р.; протягом 2008-2017 рр. він перевищував фонові значення (близько 1 мг/л) у 2-9 разів у кількох свердловинах (переважно у св. № 642, 650, 654, 2207). Станом на другу половину 2017 р. найбільші перевищення фонових значень по амонію спостерігалося у св. №642 та 654 (у 18 та 8,5 разів відповідно), у переважній більшості інших пунктів спостережень фіксувалися фонові значення. Підвищений вміст амонію у підземних водах навколо ставка-накопичувача, ймовірно, є наслідком сільськогосподарської діяльності, і не пов'язаний з фільтраційними втратами зі ставка-накопичувача, оскільки вміст амонію в шахтній воді нижче фонових значень у підземних водах на цій території.

3.3 Оцінка впливу ставка-накопичувача шахтних вод на гідрогеологічний та гідрохімічний стан прилеглої території при діючому режимі акумуляції та скиду

3.3.1 Оцінка водного балансу та фільтраційних втрат

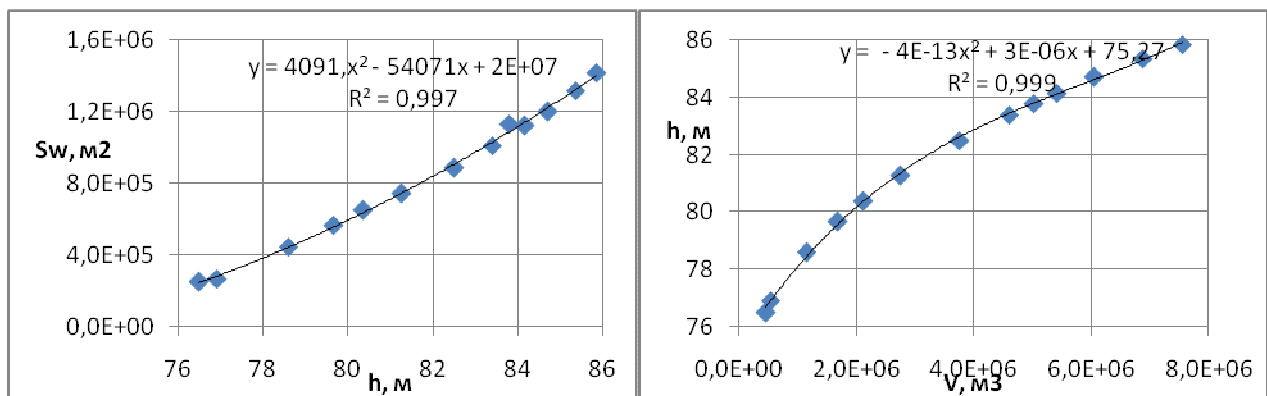
Водний баланс ставка-накопичувача розраховується на основі нестационарного рівняння

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6 = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1)$$

де Q_1 – витрата подачі шахтної води до ставка-накопичувача, Q_2 – приплив води за рахунок атмосферних опадів, Q_3 – поверхневий стік з площі, обмеженої обвідним каналом, не вкритою водою, Q_4 – витрата скиду води до р. Інгулець, Q_5 – фільтраційні втрати через дно ставка-накопичувача, Q_6 – витрата на випаровування, ΔV – зміна об'єму води у ставку-накопичувачу V за проміжок часу Δt , протягом якого осереднюються параметри процесу.

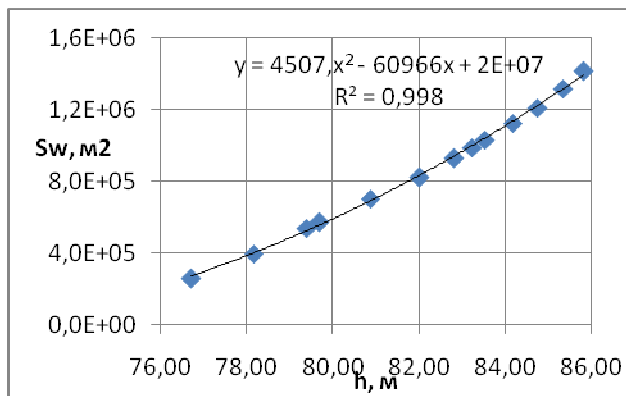
З параметрів, що входять до рівняння (1), витрата подачі шахтної води до ставка-накопичувача Q_1 та скиду до р. Інгулець Q_4 визначалися на основі даних експлуатуючої організації ДП «Кривбасшахтозакриття». Інші елементи водного балансу розраховувалися з урахуванням змінного у часі рівня води, даних щодо атмосферних опадів і випаровування. Приплив води за рахунок атмосферних опадів Q_2 та витрата на випаровування Q_6 розраховувалися, виходячи з площі водної поверхні ставка-накопичувача S_w , фактичних опадів за період оцінювання [7] та значень випаровування з водної поверхні по м. Кривий Ріг за багаторічний період спостережень (980 мм/рік) [8] з урахуванням солоності води у ставку-накопичувачу.

Для кількісних оцінок на основі даних [7,8,9,10] були взяті три періоди «акумуляція-скид» тривалістю один рік (01.03.2008-28.02.2009 рр., 01.03.2013-28.02.2014 рр. та 01.03.2016-28.02.2017 рр.), що дало можливість оцінити багаторічні зміни елементів водного балансу ставка-накопичувача. Закінчення цих періодів співпадає із завершенням скиду води до р. Інгулець. Залежності між рівнем води у ставку-накопичувачу h , її об'ємом V , та площею водної поверхні S_w апроксимовані поліномами третього та другого ступеня відповідно з достовірністю близько 0,999 (рис. 16) на основі вимірювань цих параметрів у відповідні роки.

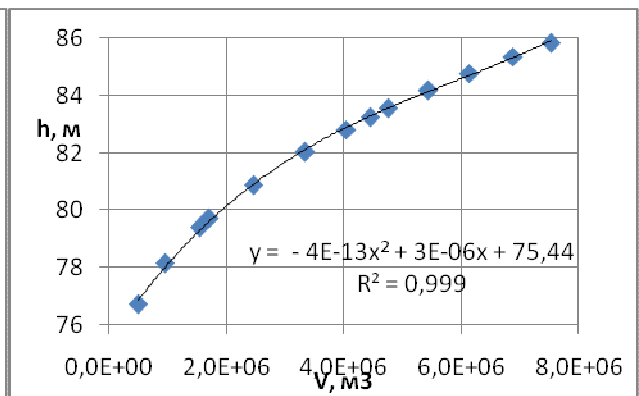


а)

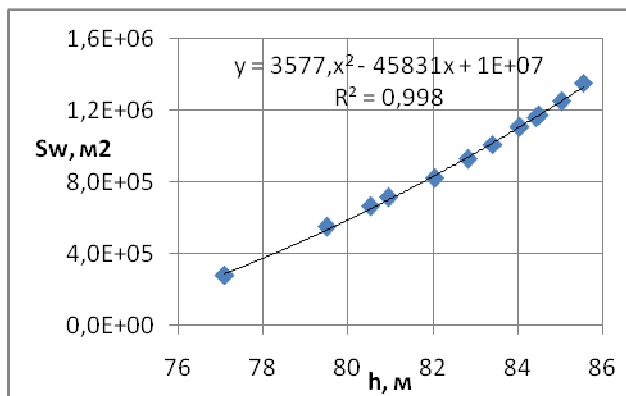
б)



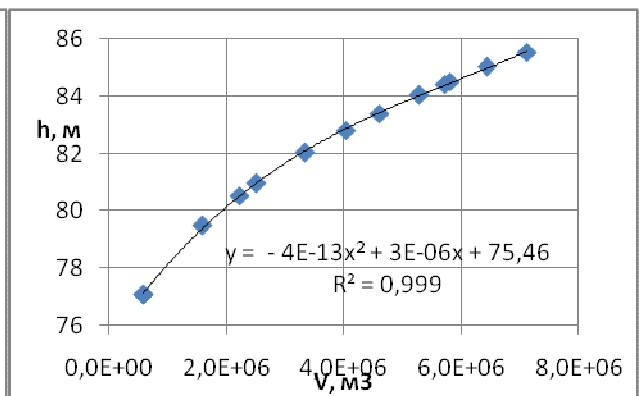
В)



Г)



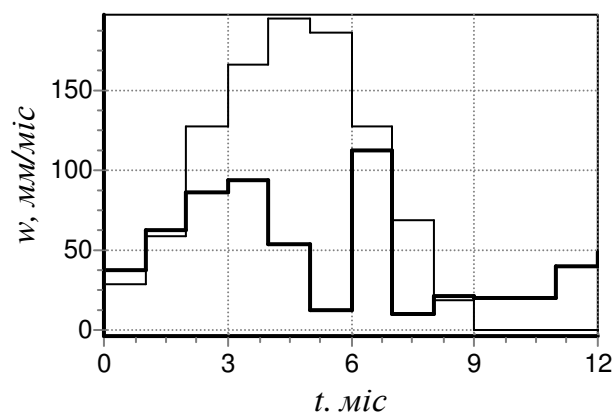
Д)



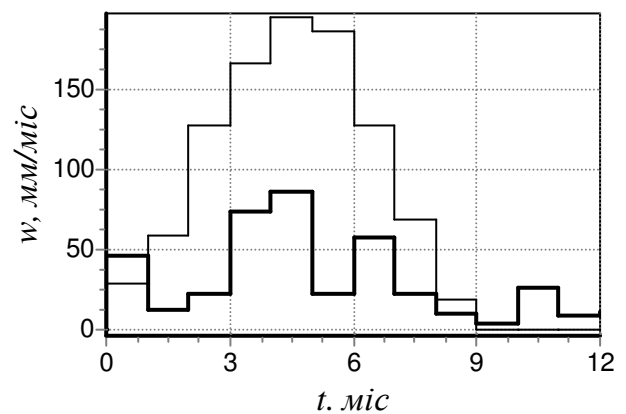
е)

Рис. 16. Апроксимація залежності між рівнем води у ставку-накопичувачу h , її об'ємом V та площею водної поверхні S на основі спостережень у 2008-2017 рр.: а,б) 2008-2009 рр., в,г) 2013-2014 рр., д,е) 2016-2017 рр.

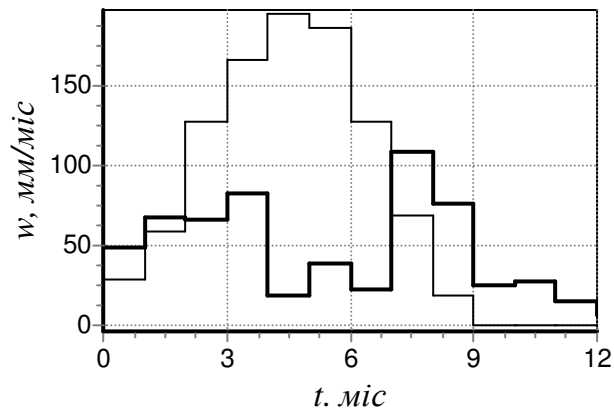
Зміна інтенсивності опадів та випаровування протягом обраних періодів показана на рис. 17.



а)



б)



в)

Рис. 17. Зміна інтенсивності опадів (жирна лінія) та випаровування (тонка лінія) протягом річного періоду: а) 01.03.2008-28.02.2009 рр., б) 01.03.2013-28.02.2014 рр., в) 01.03.2016-28.02.2017 рр.

Поверхневий стік розраховувався на основі модуля стоку для даної території [5, 6] та змінної у часі водозбірної площі ставка-накопичувача між контуром дренажних споруд (216 га при НПГ 88,5 м) та контуром берегу. Параметри заповнення ставка-накопичувача та витрат подачі й скиду представлені у табл. 4-6.

Табл. 4

Параметри заповнення ставка-накопичувача за 01.03.2008-28.02.2009 рр.

Дата	Рівень води h , м	Об'єм води V , тис. м ³	Об'єм подачі до ставка-накопичувачу, тис. м ³ /міс	Об'єм скиду до р. Інгулець, тис. м ³ /міс
01.03.2008	76.92	551.2	1084	0
01.04.2008	79.66	1697.1	1046	0
01.05.2008	81.27	2757	1086	0
01.06.2008	82.5	3760.9	1049	0
01.07.2008	83.39	4604.6	1136	0
01.08.2008	84.16	5419	1098	0
01.09.2008	84.7	6052.4	1068	0
01.10.2008	85.35	6876.2	1121	0
01.11.2008	85.85	7550	1125	3168.5
01.12.2008	83.8	5026	1138	4512.3
01.01.2009	80.37	2130.4	1108	2092.4
01.02.2009	78.6	1158.7	1001	1934.8
01.03.2009	76.5	472.3		0
Середнє	81.77	3965.292		
Загалом			13060	11708

Табл. 5

Параметри заповнення ставка-накопичувача за 01.03.2013-28.02.2014 рр.

Дата	Рівень води h , м	Об'єм води V , тис. м ³	Об'єм подачі до ставка-накопичувачу, тис. м ³ /міс	Об'єм скиду до р. Інгулець, тис. м ³ /міс
01.03.2013	76.72	502.0	1106	0.0
01.04.2013	79.40	1553.7	1065	0.0
01.05.2013	80.88	2469.0	1100	0.0
01.06.2013	82.03	3344.3	1089	0.0
01.07.2013	82.82	4044.4	1124	0.0
01.08.2013	83.54	4758.7	1076	0.0
01.09.2013	84.18	5442.4	1111	0.0
01.10.2013	84.77	6134.5	1147	0.0
01.11.2013	85.35	6876.2	1184	0.0
01.12.2013	85.83	7523.4	1099	3888.0
01.01.2014	83.24	4450.5	1125	3772.2
01.02.2014	79.70	1719.1	1013	1759.8
01.03.2014	78.16	967.0	1148	0.0
Середнє	82.37	4068.183		
Загалом			13239	9420

Табл. 6

Параметри заповнення ставка-накопичувача за 01.03.2016-28.02.2017 рр.

Дата	Рівень води h , м	Об'єм води V , тис. м ³	Об'єм подачі до ставка-накопичувачу, тис. м ³ /міс	Об'єм скиду до р. Інгулець, тис. м ³ /міс
01.03.2016	77.09	600.3	1154	0
01.04.2016	79.5	1608.9	1052	0
01.05.2016	80.95	2515.6	1084	0
01.06.2016	82.03	3344.3	1084	0
01.07.2016	82.82	4044.4	1130	0
01.08.2016	83.4	4615	1110	0
01.09.2016	84.05	5290	1033	0
01.10.2016	84.5	5817.8	1082	0
01.11.2016	85.02	6431.3	1055	0
01.12.2016	85.53	7119	1090	2000.16
01.01.2017	84.42	5724	1070	4285.44
01.02.2017	80.53	2237	967	3310.4
01.03.2017	77.1	604		0
Середнє	82.07	4562.525		
Загалом			12911	9596

Фільтраційні втрати через дно ставка-накопичувача Q_5 розраховувалися залежно від рівня води у ставку-накопичувачу h та площі водної поверхні S_w , як сума фільтраційних втрат через екран $Q_{5,e}$ та схилів ділянки $Q_{5,s}$

$$Q_5 = Q_{5,e} + Q_{5,s}, \quad (2)$$

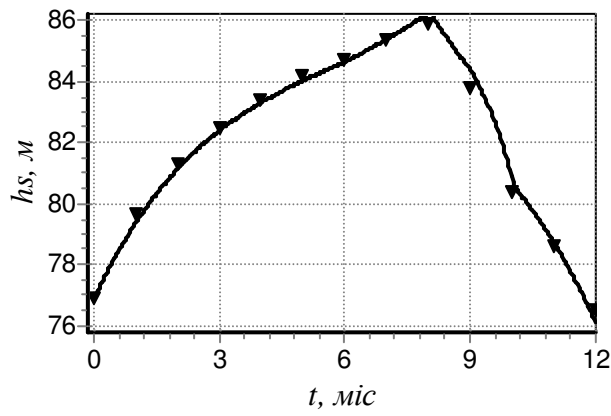
$$Q_{5,e} = K_e \frac{h - h_b + l_e + h_c}{l_e} S_{w,e}, \quad Q_{5,s} = K_s \frac{(h - h_b)/2 + l_s + h_c}{l_s} S_{w,s}, \quad (3)$$

де K_e та K_s – коефіцієнти фільтрації порід екрану та схилів ділянок ставка-накопичувача; l_e та l_s – потужність екрану та глинистих порід на схилів ділянках ставка-накопичувача; h_c – висота капілярного підняття на фронті змочування, прийнята для дрібнозернистих пісків 0,35 м згідно [9]; $S_{w,e}$ – площа водної поверхні над екраном, що не перевищує площу екрану ($S_{e,w} \leq S_e$); $S_{w,s}$ – площа водної поверхні над схилів ділянками ставка-накопичувача, $S_{s,w} = S_w - S_{w,e}$, якщо за низького рівня води ці ділянки осушені $S_{w,s} = 0$. Коефіцієнти фільтрації K_e та K_s оцінювались як середні для шаруватої товщі аналогічно [9] та уточнювались зворотним моделюванням. У формулах (2)-(3) всі значення приймаються як осереднені за площею відповідно до результатів попередніх досліджень.

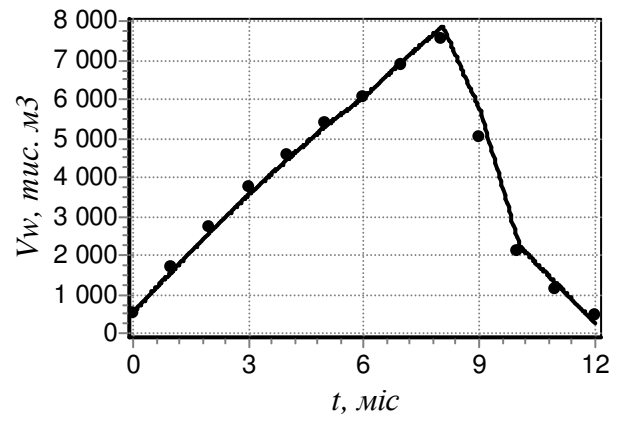
Розрахунки змін водного балансу були проведені для річного циклу «акумуляція-скид» за формулами (1)-(3) з кроком у часі $\Delta t = 1$ доба. Для досягнення мінімального відхилення між розрахунковими та фактичними значеннями рівня води Δh та об'єму води ΔV у ставку-накопичувачу коефіцієнт фільтрації порід днища ставка-накопичувача (екрану та схилів ділянок) варіювався, як такий, що недостатньо точно визначений та змінюваний через суфозійну ерозію внаслідок фільтрації мінералізованих вод.

Динаміка рівня й об'єму води у ставку-накопичувачу (рис. 18) визначена з достатньо малими середніми відхиленнями від фактичних значень. За період 01.03.2008-28.02.2009 рр. $\Delta h_{min} = 0,21$ м (2,35% від різниці між максимальним та мінімальним рівнем води), $\Delta V_{min} = 205826$ м³ (5,19% від середнього об'єму води у ставку-накопичувачу). За період 01.03.2013-28.02.2014 рр. $\Delta h_{min} = 0,12$ м (1,31% від різниці між максимальним та мінімальним рівнем води), $\Delta V_{min} = 82296$ м³ (2,02% від середнього об'єму води у ставку-накопичувачу). За період 01.03.2016-28.02.2017 рр. $\Delta h = 0,37$ м (4,38% від різниці між максимальним та мінімальним рівнем води), $\Delta V = 235829$ м³ (5,73% від середнього об'єму води у ставку-накопичувачу).

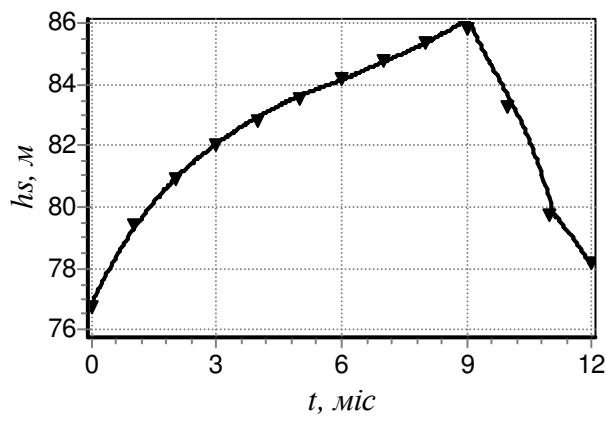
Незначні розходження між розрахунковими та фактичними даними (до 6%) пов'язані з певною невизначеністю вихідних даних щодо коефіцієнту фільтрації, випаровування та поверхневого стоку. Добра узгодженість результатів свідчить про коректність розрахунків. Значення коефіцієнту фільтрації порід екрану K_e та схилів ділянок ставка-накопичувача K_s , за яких відхилення між фактичними та розрахунковими даними мінімальні, наведені у табл. 7. Значення K_e та K_s для періодів 2013-2014 та 2016-2017 рр. добре узгоджуються з тими, що були використані у попередніх дослідженнях [9], за якими коефіцієнт фільтрації порід екрану $K_e = 0,005$ м/добу, схилів ділянок $K_s = 0,009$ м/добу. Значення K_e та K_s для періоду 2008-2009 рр. оцінені меншими у 2-4 рази.



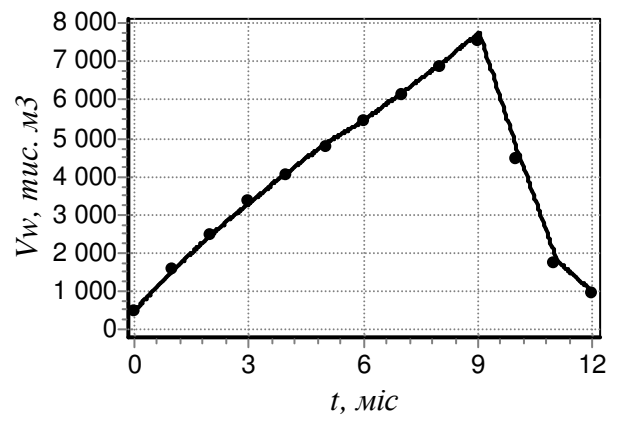
а)



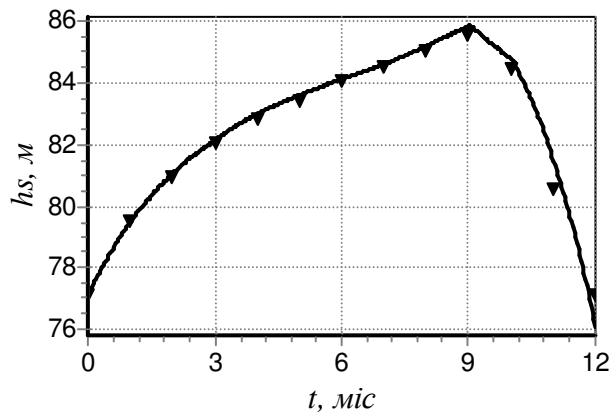
б)



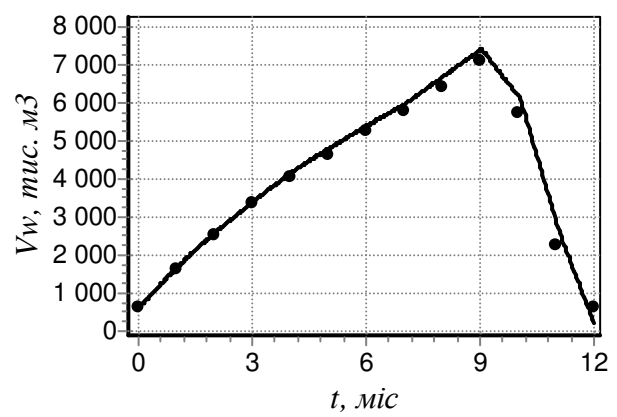
в)



г)



д)



е)

Рис. 18. Рівень води h та об'єм води V_w у ставку-накопичувачу протягом періоду «аккумуляція-скид»: а,б) 01.03.2008-28.02.2009 рр. при $K_e = 0,001$ м/добу, $K_s = 0,0035$ м/добу, в,г) 01.03.2013-28.02.2014 рр. при $K_e = 0,0015$ м/добу, $K_s = 0,0085$ м/добу, д,е) 01.03.2016-28.02.2017 рр. при $K_e = 0,002$ м/добу, $K_s = 0,01$ м/добу. Маркери – фактичні дані, лінії – розрахунок.

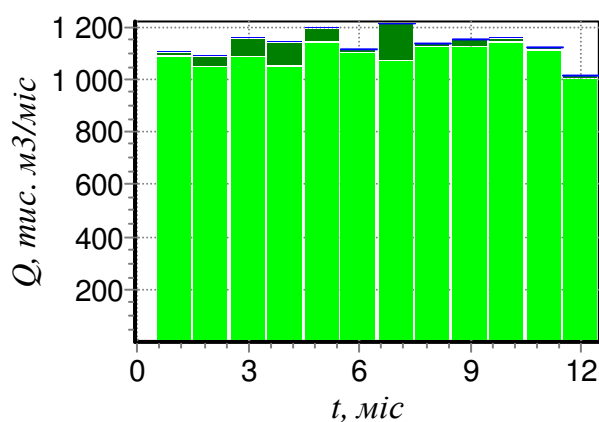
Виходячи з результатів зворотного моделювання, найбільш імовірними значеннями коефіцієнту фільтрації порід екрану та схилових ділянок ставка-накопичувача, за яких було

отримано мінімальну різницю між приходною та витратною частинами водного балансу, можна вважати у 2008-2009 рр. $K_e = 0,001$ м/добу, $K_s = 0,0035$ м/добу, у 2013-2014 рр. $K_e = 0,0015$ м/добу, $K_s = 0,0085$ м/добу, у 2016-2017 рр. $K_e = 0,002$ м/добу, $K_s = 0,01$ м/добу. Наведені далі результати розрахунків отримані для цих значень.

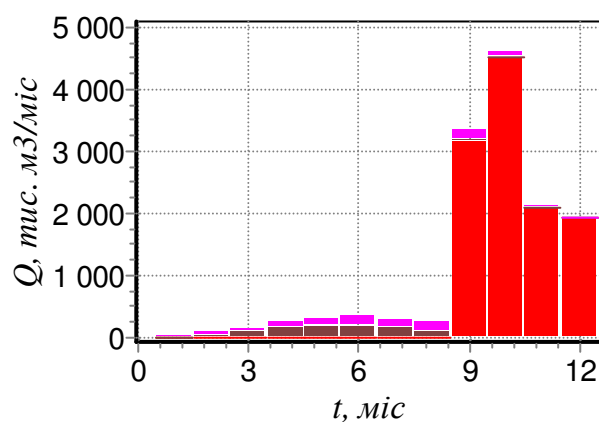
Підвищена проникність порід дна ставка-накопичувача, оцінена для періодів 2013-2014 та 2016-2017 рр. порівняно з періодом 2008-2009 рр., може бути пов'язана їх тривалою хімічною та механічною суфозією під впливом мінералізованих вод; ці ефекти раніше кількісно оцінювалися в [11] для фільтраційних втрат зі ставка-накопичувача у 1976-1977 рр. Крім того, за високих градієнтів при фільтрації з більш високим рівнем води у ставку-накопичувачу мають місце відхилення від закону Дарсі зі зростанням об'єму води. Нарешті, більша проникність частково зумовлена затримкою на місяць скиду води до р. Інгулець у 2016 р порівняно з 2008 р., що сприяло більш високим градієнтам і втратам води через дно ставка-накопичувача.

Фільтраційні втрати за період 01.03.2008-28.02.2009 рр., оцінені розрахунковим шляхом, склали 1,14 млн. м³ або 8,76% від об'єму подачі шахтних вод, за період 01.03.2013-28.02.2014 рр. – 2,77 млн. м³ або 20,92% від об'єму подачі, за період 01.03.2016-28.02.2017 рр. – 3,36 млн. м³ або 26,06% від об'єму подачі. Це добре узгоджується з різницею між об'ємами подачі води до ставка-накопичувача і скиду з нього (табл. 4-6). Зростання фільтраційних втрат у 2013-2014 і 2016-2017 рр. обумовлено, ймовірно, збільшенням проникності порід дна ставка-накопичувача під впливом мінералізованих шахтних вод.

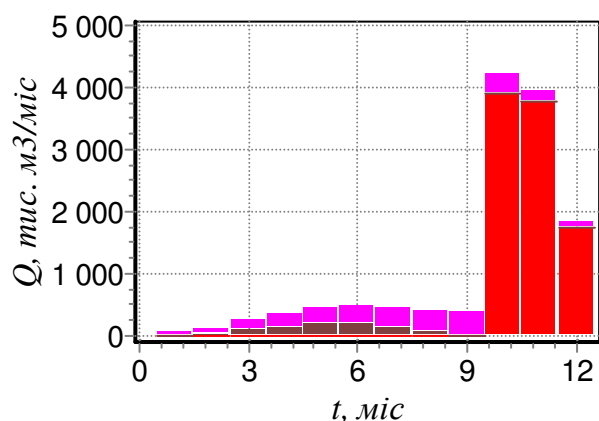
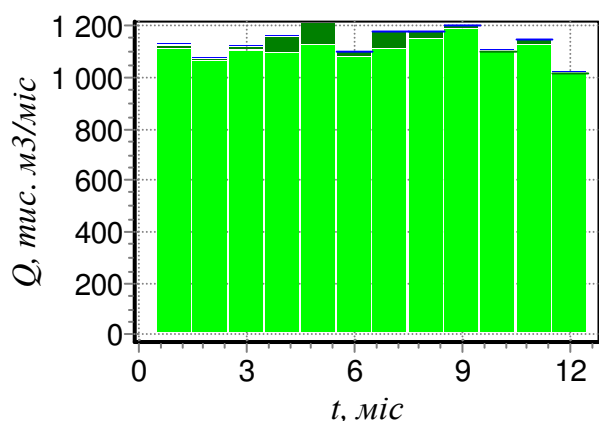
Зміна елементів водного балансу в часі (рис. 19) показує залежність фільтраційних втрат від рівня води у ставку-накопичувачу по мірі його наповнення та спорожнення. Сумарний водний баланс ставка-накопичувача за розглянуті періоди показано на рис. 20.

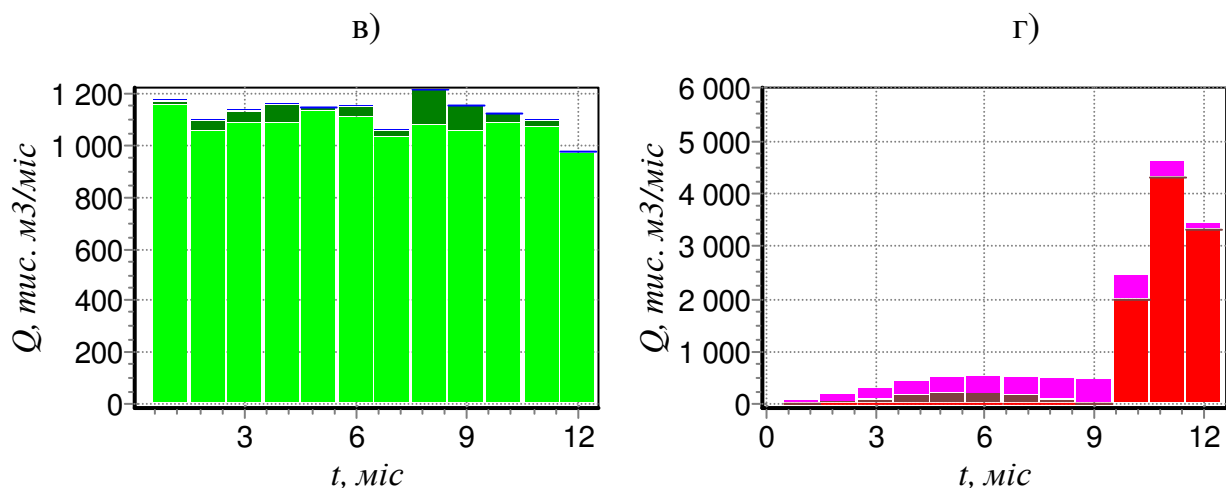


а)



б)





	Надходження шахтних вод до ставканакопичувача		Скид вод зі ставка-накопичувача до р. Інгулець
	Опади		Випаровування
	Поверхневий стік		Фільтраційні втрати

Рис. 19. Елементи водного балансу ставка-накопичувача протягом періоду «акумуляція-скид»: а,б) 01.03.2008-28.02.2009 рр., в,г) 01.03.2013-28.02.2014 рр., д,е) 01.03.2016-28.02.2017 рр. Надходження води – а, в, д, витрата води – б, г, е.

Табл. 7

Коефіцієнти фільтрації порід екрану та схилових ділянок ставка-накопичувача, оцінені за результатами зворотного моделювання

Період	K_e , м/добу	K_s , м/добу	Δh , м	ΔV , м ³
01.03.2008-28.02.2009	0,001	0,003	0,25	255456
	0,001	0,0035	0,21	205826
	0,0015	0,003	0,23	240413
	0,0015	0,0035	0,23	198316
01.03.2013-28.02.2014	0,0015	0,008	0,19	151328
	0,0015	0,0085	0,12	82296
	0,002	0,008	0,16	129952
	0,002	0,0085	0,12	64626
01.03.2016-28.02.2017	0,002	0,0095	0,36	284721
	0,0025	0,0095	0,36	268953
	0,002	0,01	0,37	235829
	0,0025	0,01	0,38	224209

У табл. 7 Δh та ΔV – середньоквадратичні відхилення розрахованих значень рівня води й об'єму води у ставку-накопичувачу від даних вимірювань.

На основі розрахунків встановлено, що фільтраційні втрати зростають за параболою залежно від рівня води у ставку-накопичувачу (рис. 21):

- у період 01.03.2008-28.02.2009 рр. від 500 м³/добу при рівні води близько 77 м до 5000-5600 м³/добу при рівні води 85,5-86 м;
- у період 01.03.2013-28.02.2014 рр. від 900-1100 м³/добу при рівні води близько 77 м до 12200-13300 м³/добу при рівні води 85,5-86 м;
- у період 01.03.2016-28.02.2017 рр. від 1300 м³/добу при рівні води близько 77 м до 14000-15000 м³/добу при рівні води 85,5-86 м.

Зважаючи на суттєве зростання фільтраційних втрат при підвищенні рівня води за параболічною залежністю рекомендується, як і у попередніх оцінках впливу ставка-накопичувача на підземні води [9], виконувати регулярний ремонт дна ставка-накопичувача після скиду води у р. Інгулець для зменшення проникності порід дна, а також коригувати режим скиду для мінімізації часу стояння високого рівня води у ставку-накопичувачу.

Середньодобові фільтраційні втрати зі ставка-накопичувача протягом останнього десятиліття зростали від 3130 м³/добу (2008-2009 рр.) до 7590 м³/добу (2013-2014 рр.) і 9210 м³/добу (2016-2017 рр.). Ці втрати залишалися додатковим джерелом живлення неогенового горизонту.



а)

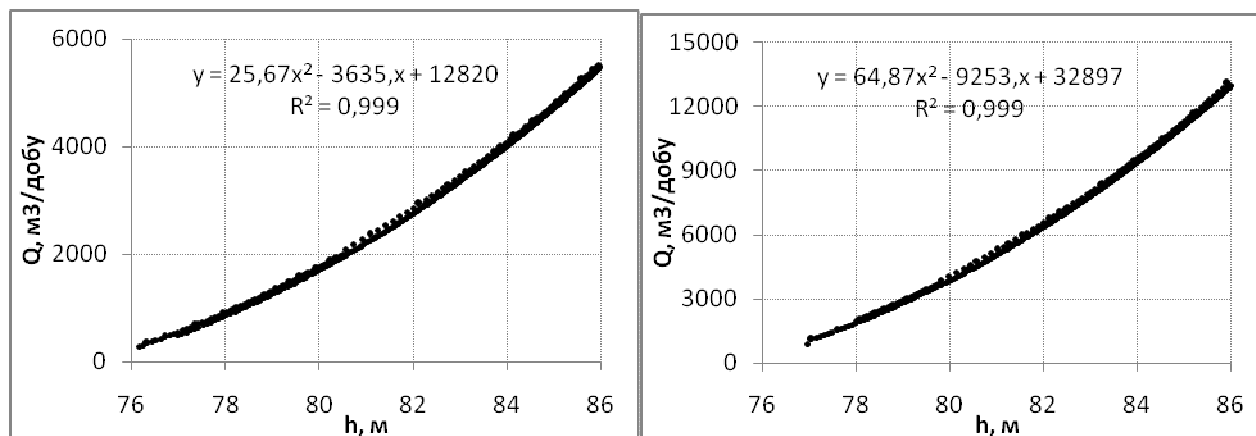


б)



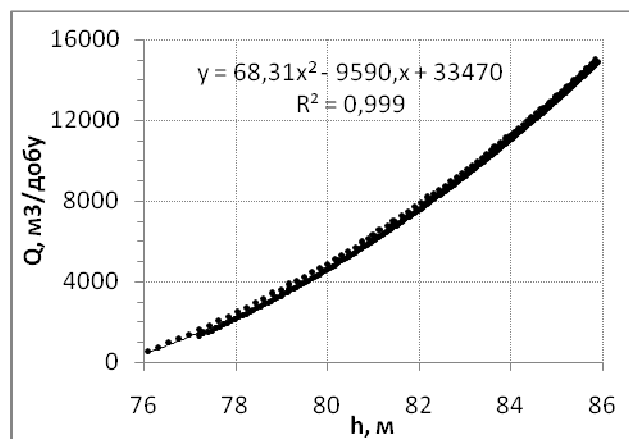
в)

Рис. 20. Сумарний водний баланс ставка-накопичувача (у тис. м³), розрахований для періодів а) 01.03.2008-28.02.2009 рр., б) 01.03.2013-28.02.2014 рр., в) 01.03.2016-28.02.2017 рр.



а)

б)



в)

Рис. 21. Зростання фільтраційних втрат зі ставка-накопичувача залежно від рівня води у ставку-накопичувачу протягом періоду «акумуляція-скид»: а) 01.03.2008-28.02.2009 рр., б) 01.03.2013-28.02.2014 рр., в) 01.03.2016-28.02.2017 рр.

3.3.2 Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрогеологічний режим

Для оцінки підняття рівня підземних вод внаслідок втрат зі ставка-накопичувача були проведені розрахунки за допомогою моделі планової горизонтальної фільтрації в однорідному пласті при втратах з площинного джерела прямокутної форми [12]. Згідно [9] коефіцієнт фільтрації неогенового горизонту був прийнятий 30,3 м/добу, водопровідність порід водоносного комплексу – 515 м²/добу, рівнепровідність – 2,1·10³ м²/добу, водовіддача – 0,25. Техногенна інфільтрація під ставком була оцінена за втратами з нього, що були розраховані при визначенні водного балансу, віднесеними до середньої площі водної поверхні.

Розраховане сумарне зростання рівня неогенового горизонту після 24 років його постійної експлуатації з 1994 р. через фільтраційні втрати з середніми значеннями за цей період 7590 м³/добу, прийнятими за показниками 2013 р. як типового року для всього періоду з точки

зору динаміки рівня та об'єму води, склало: під ставком – до 6 м, на контурі ставка-накопичувача – 4,5-5,7 м, на відстані 2 км від нього – 1,9-2,4 м, на відстані 4 км від нього – 1-1,2 м.

Отримані оцінки підвищення рівня води у неогеновому горизонті в зоні впливу ставка-накопичувача корелюють з підвищеним рівнем підземних вод неогенового горизонту в межах куполу, приуроченого до території розташування ставка-накопичувача (рис. 2). Підпор, що створюється внаслідок фільтраційних втрат, обмежений прилеглою до ставка-накопичувача територією на відстані до 1-2 км від його контуру.

Загальний тренд зниження рівня підземних вод, що спостерігається в зоні впливу ставка-накопичувача протягом останнього десятиліття (розділ 2) можна пояснити, зокрема, зростанням пористості внаслідок реакції розчинення карбонатвмісних мінералів після тривалої фільтрації мінералізованих вод. Зростання проникності гірських порід внаслідок збільшення їх пористості створює умови для швидшого розтікання куполу та зниження рівня підземних вод навіть в умовах зростання фільтраційних втрат.

3.3.3 Оцінка впливу ставка-накопичувача на гідрохімічний режим

Фільтрація мінералізованих вод супроводжується виносом солей у неогеновий водоносний горизонт, серед яких найбільш значні обсяги припадають на хлориди, сульфати, натрій та калій, магній.

Як показує проведений аналіз водного балансу ставка-накопичувача, за останнє десятиліття об'єм фільтраційних втрат змінювався з тенденцією до зростання. Тому середньорічний винос цих компонентів у неогеновий водоносний горизонт у першому наближенні оцінено як середнє відносно значень, отриманих для періодів 01.03.2008-28.02.2009 рр., 01.03.2013-28.02.2014 рр. та 01.03.2016-28.02.2017 рр. (табл. 8-10). Підвищені концентрації окремих компонентів (кальцію, амонію, заліза, нітратів), не пов'язані, як зазначалося у розділі 2, з їх виносом зі ставка-накопичувача, де їх вміст не перевищує фонових значень у підземних водах за останні роки.

Табл. 8

Середні значення концентрації та виносу солей зі ставка-накопичувача у неогеновий водоносний горизонт за 01.03.2008-28.02.2009 рр.

Речовина	Середня концентрація, мг/л	Сумарний винос, т/рік
Сухий залишок	32 275	36 908
хлориди	18441	21088
сульфати	1398	1599
натрій + калій	10707	12244
магній	789	903

Фільтраційні втрати оцінені у 1143,54 тис. м³/рік.

Табл. 9

Середні значення концентрації та виносу солей зі ставка-накопичувача у неогеновий водоносний горизонт за 01.03.2013-28.02.2014 рр.

Речовина	Середня концентрація, мг/л	Сумарний винос, т/рік
Сухий залишок	33 225	92034

хлориди	17 943	49702
сульфати	1 302	3607
натрій + калій	10 470	29003
магній	731	2023

Фільтраційні втрати оцінені у 2770,01 тис. м³/рік.

Табл. 10

Середні значення концентрації та виносу солей зі ставка-накопичувача у неогеновий водоносний горизонт за 01.03.2016-28.02.2017 рр.

Речовина	Середня концентрація, мг/л	Сумарний винос, т/рік
Сухий залишок	33.475	112609
хлориди	21 321	71723
сульфати	1 303	4383
натрій + калій	12 383	41657
магній	833	2801

Фільтраційні втрати оцінені у 3363,98 тис. м³/рік.

Граденти та швидкості руху фільтраційних вод у неогеновому горизонті оцінені на основі даних ДП «Укрчерметгеологія» (табл. 11) щодо рівнів у окремих свердловинах з урахуванням положення гідроізогіпс. Для напрямків, не представлених у табл. 11, швидкість не визначалась через від'ємний градієнт рівня підземних вод і відсутність міграції від ставка-накопичувача, або через відсутність надійних даних.

З урахуванням неоднорідності поля швидкостей фільтрації наведені значення можна вважати орієнтовними. Більш точні значення можна отримати шляхом чисельного моделювання геоміграції та/або проведенням польових досліджень.

Швидкість міграції v_m у табл. 11 розрахована за формулою

$$v_m = \frac{v}{n_e}, \quad (4)$$

де v – швидкість фільтрації, n_e – т. зв. ефективна пористість, що враховує сорбцію, $n_e = n_a + K_d$, n_a – активна пористість, що наближено приймалась рівною параметру водовіддачі, K_d – безрозмірний коефіцієнт розподілу, що визначається сорбцією у гірських породах [13, 13]. Слід зважати на те, що сорбція макрокомпонентів, особливо хлоридів, як правило, незначна [15], тому для них можна прийняти $K_d = 0$. З іншого боку, частина солей вступає в реакції з гірськими породами, але кількісна оцінка цього ефекту потребує ретельного додаткового дослідження з урахуванням усіх можливих хімічних реакцій, зважаючи на різноманітний склад шахтних вод. Отже, оцінені швидкості міграції є максимально можливими для сучасних гідрогеологічних та гідрохімічних умов у зоні впливу ставка-накопичувача.

Найбільша швидкість міграції оцінена для південно-західного і західного напрямків (150-270 м/рік), найменші швидкості – у південному та східному напрямках (10-33 м/рік). Ці висновки, які базуються на даних спостережень за 2008-2017 рр., дещо відмінні від висновків у оцінці впливу ставка-накопичувача станом на 2005 р. [9], що можна пояснити, зокрема, певною

змінюю поля швидкостей фільтрації, що відбулась з того часу. Слід зауважити, що відносно висока швидкість міграції у південно-західному і західному напрямках сприяла розбавленню фільтраційних вод, а повільна міграція у південному та східному напрямках – стабілізації вмісту солей у підземних водах навколо ставка-накопичувача.

Табл. 11

Градієнти та швидкості міграції у неогеновому горизонті,
оцінені за період 2008-2017 рр.

Напрямок від ставка-накопичувача	Як розраховано чи оцінено	Градієнт, б/р	Швидкість фільтрації, м/добу	Швидкість міграції, м/добу	Швидкість міграції, м/рік
Захід	Рівень води у св. №642 та 2207				
	2008 р.	0.00616	0.19	0.75	273
	2013 р.	0.00598	0.18	0.72	265
	2016 р.	0.00614	0.19	0.74	272
	Середнє за період	0.00610	0.18	0.74	269.6
Південний захід	Рівень води у св. №648 та 650				
	2008 р.	0.00371	0.11	0.45	164
	2013 р.	0.00332	0.10	0.40	147
	2016 р.	0.00329	0.10	0.40	146
	Середнє за період	0.00344	0.10	0.42	152.2
Південь	Рівень води у св. №648 та 652				
	2008 р.	0.00019	0.01	0.02	8
	2013 р.	0.00027	0.01	0.03	12
	2016 р.	0.00029	0.01	0.04	13
	Середнє за період	0.00025	0.01	0.03	11.0
Південний схід	Рівень води у св. №2209 та 655				
	2008 р.	0.00085	0.03	0.10	38
	2013 р.	0.00065	0.02	0.08	29
	2016 р.	0.00061	0.02	0.07	27
	Середнє за період	0.00070	0.02	0.09	31.2
Схід	Рівень води у св. №656 та 2210				
	2008 р.	0.00082	0.02	0.10	36
	2013 р.	0.00067	0.02	0.08	30
	2016 р.	0.00070	0.02	0.08	31
	Середнє за період	0.00073	0.02	0.09	32.4

4 ПРОГНОЗ ЗМІН ВПЛИВУ СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА ШАХТНИХ ВОД НА ПРИЛЕГЛУ ТЕРИТОРІЮ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СХЕМИ (РЕЖИМУ) АКУМУЛЯЦІЇ ТА СКИДУ НАДЛИШКІВ ШАХТНИХ ВОД ЗІ СТАВКА-НАКОПИЧУВАЧА

4.1 Оцінка водного балансу та фільтраційних втрат.

Водний баланс ставка-накопичувача для альтернативної схеми розраховується аналогічно тому, як описано в розділі 3.

Витрата подачі шахтної води до ставка-накопичувача та скиду до р. Інгулець Q_4 визначалися на основі даних проектної організації ПАТ «УКРВОДПРОЕКТ». Інші елементи водного балансу розраховувалися з урахуванням змінного у часі рівня води, даних щодо атмосферних опадів і випаровування.

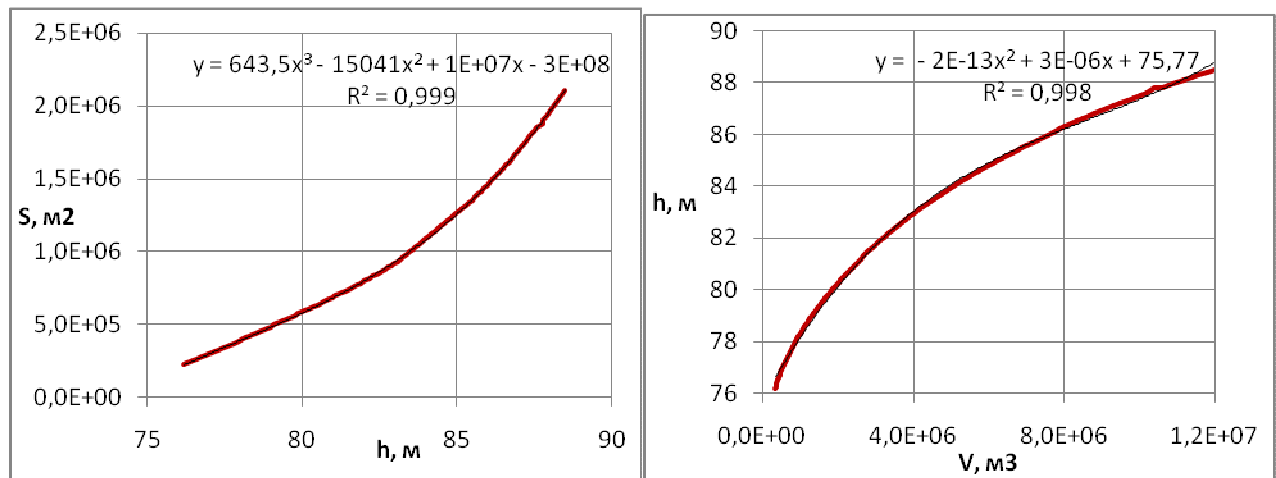


Рис. 22. Апроксимація залежностей між площею водного дзеркала S та рівнем води у ставку-накопичувачу h (а), рівнем води у ставку-накопичувачу h та її об'ємом V (б) на основі даних маркшейдерських вимірів навесні 2018 р.

Згідно альтернативної схеми (режим) акумуляції надлишків зворотних вод у ставку-накопичувачу та їх скидання у р. Інгулець початок циклу «акумуляція-скид» при розрахунках було прийнято 15 березня, початок скиду – 15 вересня, завершення циклу – 14 березня. Виходячи з цього, кожний розрахунковий місяць починається з 15 числа; відповідно до цього були скореговані середньомісячні норми опадів та випаровування з водної поверхні (рис. 23).

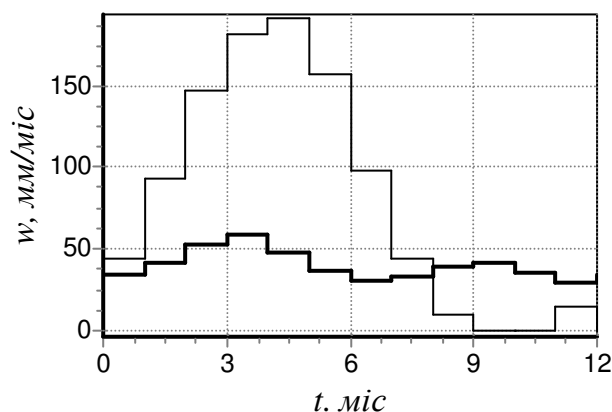


Рис. 23. Зміна середньомісячної інтенсивності опадів (жирна лінія) та випаровування (тонка лінія) протягом річного періоду для умов м. Кривий Ріг, початок місяця – 15 число.

Розрахунки змін водного балансу були проведені для таких варіантів поетапного впровадження альтернативної схеми:

1) акумуляція у ставку-накопичувачу шатних вод південної групи шахт з наступним відведенням їх в р. Інгулець відповідно до регламенту скиду;

2а) акумуляція у ставку-накопичувачу шатних вод південної та північної групи шахт з наступним відведенням їх в р. Інгулець, відповідно до регламенту скиду без нарощування протифільтраційного екрану;

2б) акумуляція у ставку-накопичувачу шатних вод південної та північної групи шахт з наступним відведенням їх в р. Інгулець, відповідно до регламенту скиду з нарощуванням протифільтраційного екрану.

При розрахунках варіантів «1» і «2», що передбачають менший рівень наповнення ставка-накопичувача та, відповідно, менший градієнт, приймалися фільтраційні властивості порід дна, оцінені для періоду «акумуляція-скид» 01.03.2016 – 28.02.2017, тобто $K_e = 0,002$ м/добу, $K_s = 0,01$ м/добу. Для цих значень були досягнуті мінімальні розходження між розрахунковими та фактичними даними об'єму та рівня води при мінімальній різниці між приходною та витратною частинами водного балансу ставка.

Для варіанту «2б», який передбачає нарощування протифільтраційного екрану на всю площу, що покривається водою, при розрахунках було прийнято однакове значення проникності для всього ставка-накопичувача ($K_e = K_s = 0,003$ м/добу), яке взято більшим через технічну неможливість забезпечити однакову ступінь ущільнення за всією площею та очікувану деградацію екрану з часом.

Початковий об'єм та рівень у ставку-накопичувачу були взяті станом на початок циклу «акумуляція-скид» (01.03.2017) 77.09 м та 600.3 тис. м³ відповідно, що фактично відповідає середнім значенням цих параметрів за десятиліття 2008-2017 рр.: 77.04 м та 600.0 тис. м³ відповідно.

Витрати подачі шахтної води до ставка-накопичувача для варіантів «1» і «2» альтернативної схеми були прийняті відповідно 0,4 м³/с та 0,54 м³/с з урахуванням груп шахт, з яких буде подаватися вода. Витрати скиду до р. Інгулець коригувалися, виходячи з критерію підтримання однакових рівнів об'ємів води на початок кожного річного циклу. Результати розрахунків представлені у таблиці 12, де прийняті такі позначення:

Q_p – витрата подачі води до ставка-накопичувача, м³/с,

Q_c – витрата скиду води зі ставка-накопичувача до р. Інгулець, м³/с,

h_0, h_1, h_{max} – початкове, кінцеве та максимальне положення рівня води у ставку-накопичувачу, м,

V_0, V_1, V_{max} – початковий, кінцевий, та максимальний об'єм води у ставку-накопичувачу, тис.м³,

Q_{ϕ} – фільтраційні втрати через дно ставка-накопичувача, тис. м³/рік,

Q_v – витрата на випаровування, тис. м³/рік.

Таблиця 12

Показники експлуатації ставка-накопичувача при різних варіантах альтернативної схеми

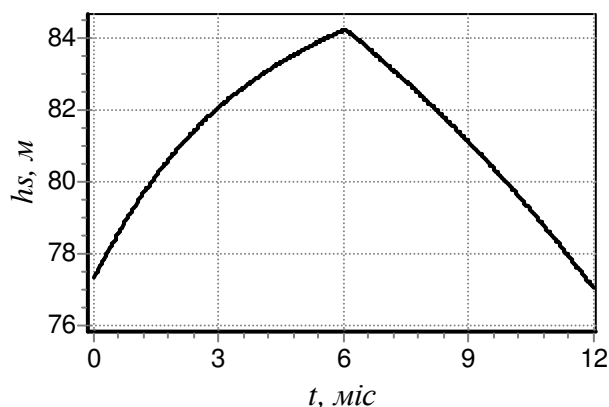
№	Q_p , м ³ /с	Q_c , м ³ /с	h_0 , м	h_1 , м	h_{max} , м	V_0 , тис. м ³	V_1 , тис. м ³	V_{max} , тис. м ³	Q_{ϕ} , тис. м ³ /рік	Q_v , тис. м ³ /рік
1	0,4	0,63	77,09	77,04	84,25	600,3	507,5	5202,0	2413,5	846,3
2а	0,54	0,86	77,09	77,13	85,59	600,3	546,8	6971,7	3082,6	1022,4
2б	0,54	0,97	77,09	77,31	86,18	600,3	622,7	7945,9	1248,0	1094,5

Динаміка рівня й об'єму води у ставку-накопичувачу для альтернативної схеми(рис. 24) відрізняється від оцінених раніше періодів у 2008-2017 рр. Завдяки більш ранньому скиду зі ставка-накопичувача максимальний рівень води у ньому для варіанту «1» прогнозується на 1,5 м нижче, ніж за існуючої схеми, а максимальний об'єм – на 1,95 млн. м³ менше. Через це частка фільтраційних втрат від об'єму подачі зменшиться до 19,13% порівняно з 26,06% за існуючої схеми.

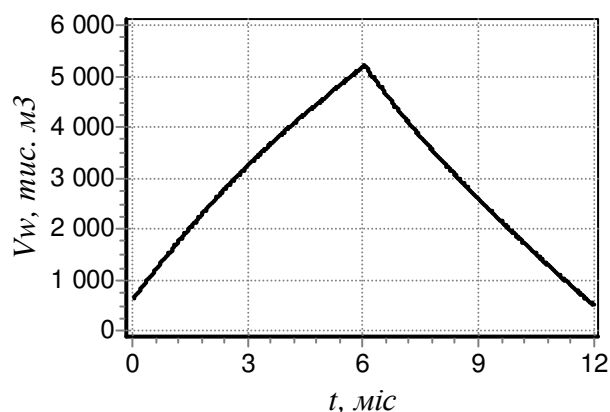
Для варіанту «2а», що передбачає додаткову подачу води з північної групи шахт на 4,4 млн. м³/рік, максимальний рівень і об'єм води прогнозуються близькими до існуючої схеми (табл. 12, рис. 18), а частка фільтраційних втрат від об'єму подачі зменшиться до 18,1% порівняно з 26,06% за існуючої схеми.

За рахунок нарощування протифільтраційного екрану для варіанта «2б» фільтраційні втрати за річний період порівняно з варіантом «2а» можна буде зменшити на 59,5%, що призведе до збільшення максимального рівня та об'єму води у ставку-накопичувачу на 0,6 м та 1 млн. м³ відповідно. Отже, навіть при збільшенні об'єму подачі за варіантом «2б» фільтраційні втрати прогнозуються суттєво меншими, ніж за існуючої схеми за рахунок зменшення проникності порід дна та зменшення періоду акумуляції води.

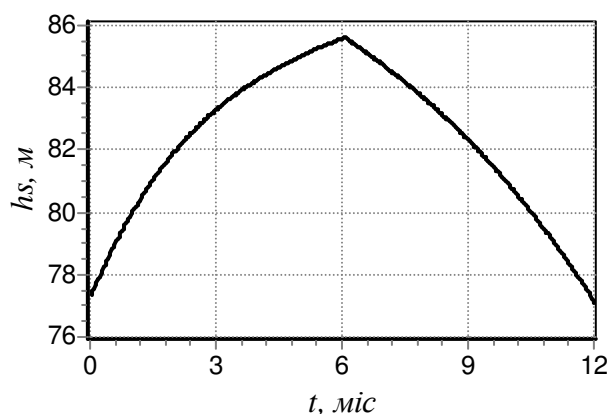
За результатами розрахунків, при заданих витратах подачі води до ставка-накопичувача та її скиду до р. Інгулець на кінець періоду «акумуляція-скид» об'єми води для всіх варіантів залишатимуться близькими до початкових значень, а незначні відхилення до 2% від середнього об'єму можуть бути легко відрегульовані в процесі експлуатації коригуванням витрати скиду води.



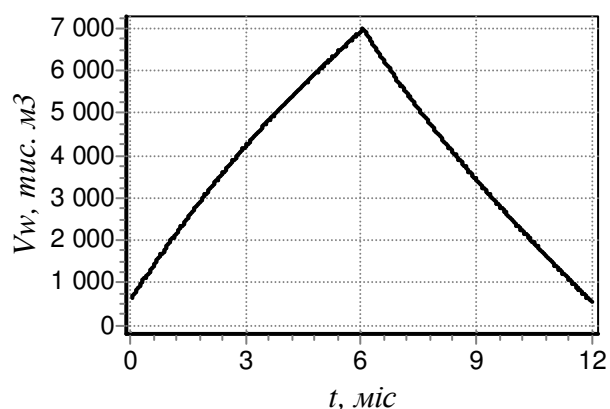
а)



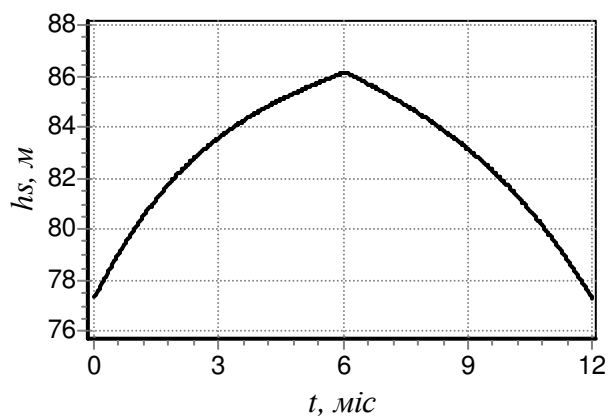
б)



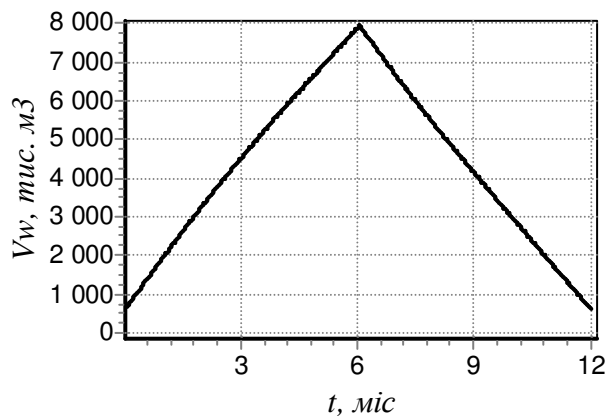
в)



г)



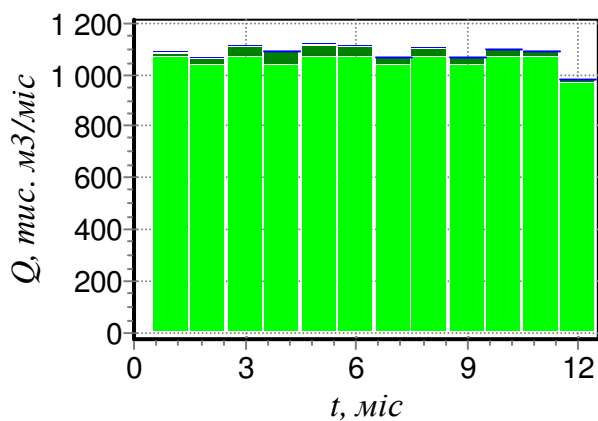
д)



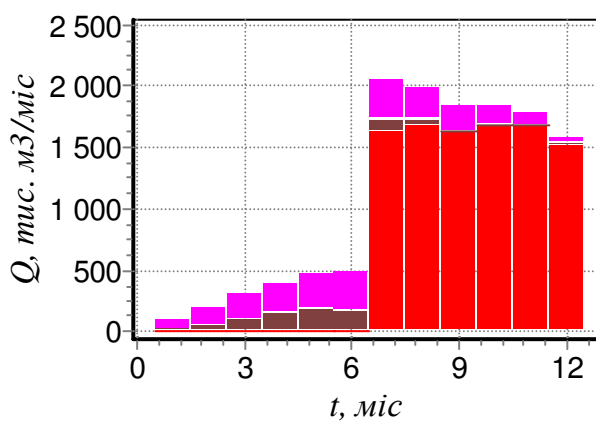
е)

Рис. 24. Рівень води h та об'єм води V ставка-накопичувачу протягом періоду «акумуляція-скид»: а,б) варіант «1», в,г) варіант «2а», д,е) варіант «2б»

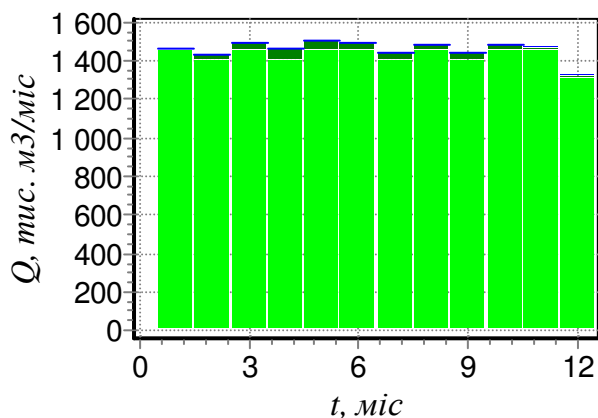
Зміна елементів водного балансу ставка-накопичувача в часі та його сумарний водний баланс наведені на рис. 25-26.



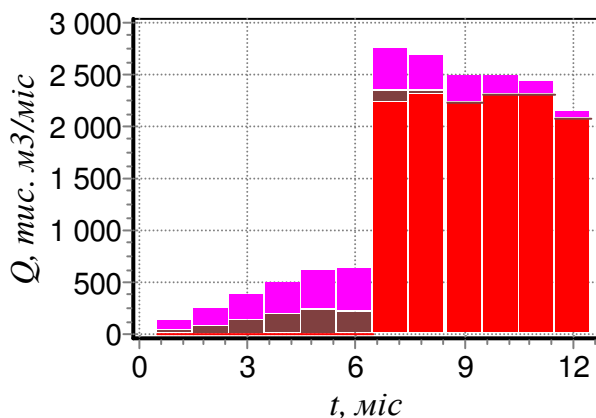
а)



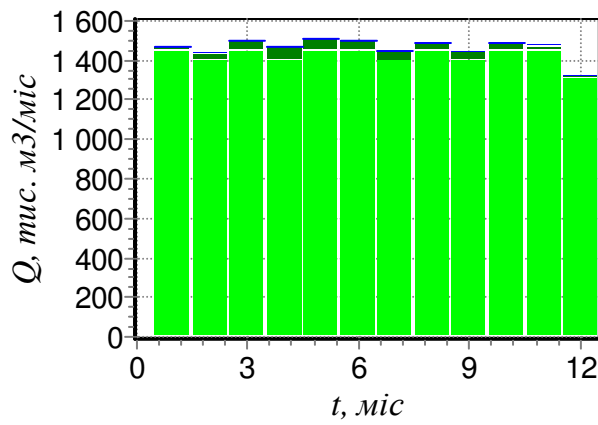
б)



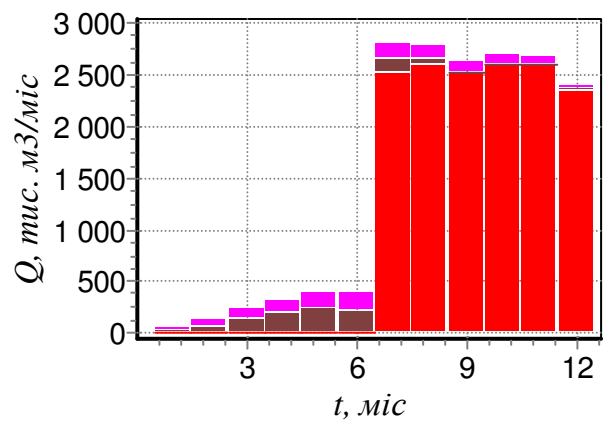
в)



г)



д)



е)

Надходження шахтних вод до ставка	Скид вод зі ставка до р. Інгулець
Опади	Випаровування
Поверхневий стік	Фільтраційні втрати

Рис. 25. Елементи водного балансу ставка-накопичувача протягом періоду «акумуляція-скид»: а,в) варіант «1», б,г) варіант «2а», д,е) варіант «2б». Надходження води – а, в, д, витрата води – б, г, е.



а)



б)



в)

Рис. 26. Сумарний водний баланс ставка-накопичувача (у тис. м³), розрахований: а) для варіанту «1», б) для варіанту «2а», в) для варіанту «2б».

Добові фільтраційні втрати змінюватимуться залежно від рівня води у ставка-накопичувачу для варіантів:

1) від 1500-1800 м³/добу при рівні води нижче 77,5 м до 10800-11300 м³/добу при рівні води вище 84 м;

2а) від 1500-1800 м³/добу при рівні води нижче 77,5 м до 14500-14600 м³/добу при рівні води понад 85,5 м;

2б) від 950-1100 м³/добу при рівні води нижче 77,5 м до 5600 м³/добу при рівні води понад 86 м.

Середньодобові фільтраційні втрати зі ставка-накопичувача для варіантів «1», «2а» та «2б» оцінюються у 6610 м³/добу, 8450 м³/добу та 3420 м³/добу відповідно. Ці втрати, за виключенням варіанту «2а», є меншими порівняно з сучасними, які оцінені в розділі 3 (7590 м³/добу за 2013-2014 рр. та 9210 м³/добу за 2016-2017 рр.), що сприятиме стабілізації або зниженню рівня підземних вод у неогеновому горизонті під ставком і на прилеглий території.

4.2 Оцінка впливу ставка на гідрогеологічний режим

Для оцінки зміни рівня підземних вод залежно від фільтраційних втрат зі ставка-накопичувача при різних варіантах альтернативної схеми були проведені розрахунки аналогічно розділу 3 за допомогою моделі планової горизонтальної фільтрації в однорідному пласті з урахуванням зміни у часі втрат з площинного джерела прямокутної форми [12], фільтраційні параметри при цьому були прийняті заданими [9], а техногенна інфільтрація під ставком-накопичувачем оцінена за втратами, отриманими при розрахунку водного балансу.

Розраховані зміни рівня неогенового горизонту під ставком через 10 років з початку запровадження альтернативної схеми, обумовлені фільтраційними втратами, склали для варіантів

1) -0,2 м в межах контуру ставка-накопичувача, близько нуля за межами ставка-накопичувача;

2а) +1 м в межах контуру ставка-накопичувача, +0,5 м на відстані 2 км від ставка-накопичувача, +0,3 м на відстані 4 км від ставка-накопичувача;

2б) -2 м в межах контуру ставка-накопичувача, -0,3 м на відстані 2 км від ставка-накопичувача, близько нуля на відстані 4 км від ставка-накопичувача.

Таким чином, при застосуванні всіх варіантів альтернативної схеми зміна рівня підземних вод буде незначною: до 2 м в межах контуру ставка-накопичувача і 0,3-0,5 м на відстані 2 км. Для варіанту «1» зниження рівня за межами ставка-накопичувача майже не проявиться, для варіанту «2а» слід очікувати незначного зростання рівня підземних вод, для варіанту «2б» – незначного зниження їх рівня. Купол підземних вод, приурочений до ставка-накопичувача, майже не зміниться.

4.3 Оцінка впливу ставка на гідрохімічний режим

Середньорічний винос солей, хлоридів і сульфатів було розраховано на основі прогнозних показників якості води у ставка-накопичувачу, наведених у розділі (проект, таблиця 2).

У таблиці 13 прийнято: C_n – прогнозна концентрація, Q_c – фільтраційні втрати, q_c – прогнозований річний винос зі ставка-накопичувача до водоносного горизонту.

Прогнозні значення виносу солей зі ставка-накопичувача
у неогеновий водоносний горизонт для різних варіантів альтернативної схеми

Варіант №	Втрати	Хлориди		Сульфати		Загальна мінералізація	
	Q_c , тис. м ³ /рік	C_n , мг/л	Q_c , т/рік	C_n , мг/л	Q_c , т/рік	C_n , мг/л	Q_c , т/рік
1	2413,5	20 893	50425	1 443	3483	39 828	96125
2а	3082,6	20 893	64405	1 443	4448	39 828	122774
2б	1248,0	20 893	26074	1 443	1801	39 828	49705

Прогнозоване надходження солей для варіанту «1» може зрости на 5% порівняно з 2013-14 рр., для варіанту «2а» воно буде на 33,4% більше, ніж у 2013-2014 рр., головним чином, за рахунок зростання мінералізації в ставку-накопичувача на 19%, а також фільтраційних втрат на 11,3%; для варіанту «2б» воно буде на 46% менше, ніж у 2013-2014 рр. переважно за рахунок зменшення фільтраційних втрат. Таким чином, поетапне запровадження альтернативної схеми зменшить або стабілізує надходження солей до водоносного горизонту навіть в умовах зростання мінералізації та об'ємів подачі шахтних вод до ставка-накопичувача і сприятиме зменшенню його техногенного навантаження на підземну гідросферу.

Середні градієнти та швидкості фільтрації у неогеновому горизонті в період 10 років після запровадження альтернативної схеми були оцінені (таблиці 14) виходячи з прогнозованих змін рівня підземних вод. Для варіанту «1» зміни прогнозуються лише в межах контуру ставка-накопичувача, тому градієнти і швидкості фільтрації практично не зміняться порівняно з існуючими значеннями.

Таблиця 14

Середні прогнозні градієнти та швидкості міграції у неогеновому горизонті при альтернативній схемі протягом 10 років з початку її запровадження

Напрямок від ставка	Як розраховано чи оцінено	Градієнт, б/р	Швидкість фільтрації, м/добу	Швидкість міграції, м/добу	Швидкість міграції, м/рік
Захід	Рівень води у св. №642 та 2207				
	Варіант «1»	0,00610	0,18	0,74	269,6
	Варіант «2а»	0,00613	0,19	0,74	271
	Варіант «2б»	0,00580	0,18	0,70	256
Південний захід	Рівень води у св. №648 та 650				
	Варіант «1»	0,00344	0,10	0,42	152,2
	Варіант «2а»	0,00363	0,11	0,44	161
	Варіант «2б»	0,00305	0,09	0,37	135
Південь	Рівень води у св. №648 та 652				
	Варіант «1»	0,00025	0,01	0,03	11
	Варіант «2а»	0,00035	0,01	0,04	16
	Варіант «2б»	$0,77 \cdot 10^{-5}$	0,00	0,00	0

Південний схід	Рівень води у св. №2209 та 655				
	Варіант «1»	0,00070	0,02	0,09	31,2
	Варіант «2а»	0,00084	0,03	0,10	37
	Варіант «2б»	0,00048	0,01	0,06	21
Схід	Рівень води у св. №656 та 2210				
	Варіант «1»	0,00073	0,02	0,09	32,4
	Варіант «2а»	0,00087	0,03	0,10	38
	Варіант «2б»	0,00027	0,01	0,03	12

При варіанті «2а» з більшими фільтраційними втратами швидкість міграції зросте у всіх напрямках, але переважно в південному, південно-східному та східному, хоча й несуттєво в абсолютному вимірі (на 5-6 м/рік), у інших напрямках вона залишиться практично на сучасному рівні. При варіанті «2б» з меншими фільтраційними втратами швидкість міграції зменшиться у східному південно-східному напрямках у 1,5-3 рази, а в південному практично зменшиться до нуля. У західному та південно-західному напрямках вона зменшиться на 15-20 м/рік (6-13% відносно сучасних значень швидкості).

Таким чином, запровадження альтернативної схеми для акумуляції вод південної групи шахт не призведе до помітних змін швидкості міграції. У разі акумуляції вод також із північної групи шахт без нарощування протифільтраційного екрану суттєвого зростання швидкостей міграції солей не відбудеться. При нарощуванні екрану можна очікувати помітного зменшення швидкості міграції, що сприятиме скороченню площі гідрохімічного впливу ставка-накопичувача на підземні води. Більш детальні висновки потребують застосування чисельного моделювання фільтрації та міграції солей навколо ставка-накопичувача з використанням даних моніторингу у всіх напрямках.

ВИСНОВКИ

1. Техногенний вплив ставка-накопичувача поширюється фактично лише на сарматський водоносний горизонт неогенових відкладів, де під спільним впливом ставка-накопичувача та хвостосховищ «Войкове» та «Об'єднане» сформувався купол рівня підземних вод, приурочений до території між цими об'єктами. Статистичним аналізом показано, що гідродинамічний вплив коливань рівня води у ставку-накопичувачу на коливання рівня підземних вод обмежений зоною до 600 м від контуру ставка-накопичувача. Вплив ставка-накопичувача на четвертинний горизонт мінімальний, проявів підтоплення немає.

2. Протягом останнього десятиліття гідродинамічний режим неогенового водоносного горизонту залишався стабільним, річні коливання рівня води у середньому становлять 0,4 м. Встановлено статистично значущий тренд зниження рівня підземних вод у 22 з 25 спостережних свердловин.

3. Зона підвищеної мінералізації у підземних водах неогенового горизонту поширена навколо ставка-накопичувача на 2-5 км від його контуру, значення мінералізації в ній зростають від фонових в її віддалених частинах до 15-32 г/л на відстанях до 2 км від ставка-накопичувача, де склад води змінився на хлоридно-натрієво-магнієвий відповідно до складу вод зі ставка-накопичувача. Загальний тренд зміни мінералізації у часі відсутній, але в окремих свердловинах спостерігаються її значні коливання, які ймовірно пов'язані з періодичністю наповнення ставка-накопичувача та відповідними фільтраційними втратами. За останні роки контури зони підвищеної мінералізації навколо ставка-накопичувача залишаються стабільними.

4. Контури зони підвищеної мінералізації недостатньо обґрунтовані даними моніторингу на захід та північний захід від ставка-накопичувача. Для достовірного визначення мінералізації на цій ділянці та оцінки сольового стоку до р. Інгулець необхідні комплексні дослідження на основі детального моніторингу та чисельного моделювання переносу солей у підземних водах.

5. До основних компонентів хімічного складу підземних вод, найбільш змінених у зоні впливу ставка-накопичувача у неогеновому горизонті безпосередньо внаслідок фільтраційних втрат, відносяться вміст хлоридів та жорсткість, фонові значення яких в окремих свердловинах поблизу ставка-накопичувача перевищені у 17 та 5,8 разів відповідно. Високий вміст сульфатів, встановлений як для свердловин поблизу ставка-накопичувача, так і для віддалених пунктів спостережень, не може розглядатися як безпосередній наслідок фільтраційних втрат, оскільки кореляція між вмістом сульфатів та мінералізацією практично відсутня.

6. У зоні, прилеглій до ставка-накопичувача, відбуваються хімічні реакції між фільтраційними водами та гірськими породами, що підтверджується кореляційним аналізом, внаслідок чого вміст кальцію, окиснюваності, а також кислотність у 3-4 свердловинах на відстані до 1000 м від контуру ставка-накопичувача підвищені порівняно з шахтними водами. Ці підвищення мають локальний характер.

7. На основі розрахунку водного балансу ставка-накопичувача, що добре узгоджується з фактичними даними рівнів та об'ємів води у ньому, були оцінені фільтраційні втрати для трьох річних періодів «акумуляція-скид» (01.03.2008-28.02.2009 рр., 01.03.2013-28.02.2014 рр. та 01.03.2016-28.02.2017 рр.), які склали 1,14 млн. м³, 2,77 млн. м³ та 3,36 млн. м³ відповідно. Зростання фільтраційних втрат у 2013-2014 та 2016-2017 рр. обумовлено, ймовірно, збільшенням проникності порід дна ставка-накопичувача під впливом мінералізованих вод та затримкою на місяць скидання води до р. Інгулець при високому рівні води у ставку-накопичувачу.

8. Розраховане сумарне зростання рівня неогенового горизонту з осередненими фільтраційними втратами після 24 років його постійної експлуатації з 1994 р. зменшується від 2,8 м під ставком до 0,5 м на відстані 4 км від нього, що узгоджується з даними гідрогеологічного моніторингу щодо існування куполу рівня підземних вод, обмеженого територією до 1-2 км від контуру ставка-накопичувача.

9. Швидкість міграції солей, оцінена за рівнем води у спостережних свердловинах за минуле десятиліття, є максимальною у південно-західному та західному напрямках, мінімальна – у південному та східному напрямках. Відносно висока швидкість міграції у південно-західному і західному напрямках сприяла розбавленню фільтраційних вод, а повільна міграція у південному та східному напрямках – стабілізації вмісту солей у підземних водах навколо ставка-накопичувача.

10. На основі розрахунку водного балансу ставка для трьох варіантів альтернативної схеми, що передбачають скидання вод до р. Інгулець протягом 6 місяців, оцінені фільтраційні втрати, які очікуються: при акумуляції вод з південної групи шахт (варіант «1») – 2,41 млн. м³, при акумуляції вод з південної та північної групи шахт без нарощування протифільтраційного екрану (варіант «2а») – 3,08 млн. м³ з нарощуванням протифільтраційного екрану (варіант «2б») – 1,25 млн. м³. Завдяки більш ранньому скиду зі ставка-накопичувача та регулюванню його витратою можна мінімізувати фільтраційні втрати порівняно з існуючою схемою при тому ж або більшому об'єму подачі вод до ставка-накопичувача.

11. Середньодобові фільтраційні втрати зі ставка-накопичувача для варіанту альтернативної схеми з акумуляцією шахтних вод з південної групи шахт оцінюються у 6610 м³/добу, що на 12,9% менше порівняно з сучасними втратами (7590 м³/добу за 2013-2014 рр.); це сприятиме стабілізації або зниженню рівня підземних вод у неогеновому горизонті під ставком і на прилеглий території.

12. При порівнянні всіх варіантів альтернативної схеми встановлено, що зміна рівня підземних вод буде незначною: до 2 м в межах контуру ставка і 0,3-0,5 м на відстані 2 км. Для варіанту «1» зниження рівня за межами ставка-накопичувача майже не проявиться, для варіантів «2а» і «2б» слід очікувати незначного зростання та зниження рівня води відповідно в неогеновому горизонті.

13. Прогнозоване надходження солей для альтернативної схеми може зрости на 4-9% лише за рахунок зростання мінералізації на 19% у ставку-накопичувачу порівняно з періодом 2008-2017 рр. При нарощуванні протифільтраційного екрану можна буде зменшити надходження солей до підземних вод вдвічі навіть в умовах збільшення об'ємів подачі та зростання мінералізації. Таким чином, поетапне запровадження альтернативної схеми сприятиме стабілізації та зменшенню надходження солей до водоносного горизонту і зменшенню техногенного навантаження ставка-накопичувача на підземну гідросферу.

14. Запровадження альтернативної схеми з акумуляцією вод південної групи шахт не призведе до помітних змін швидкості міграції. У разі акумуляції вод також із північної групи шахт без нарощування протифільтраційного екрану суттєвого зростання швидкостей міграції солей не відбудеться. При нарощуванні екрану можна очікувати помітного зменшення швидкості міграції, що сприятиме скороченню площі гідрохімічного впливу ставка-накопичувача на підземні води.

Додаток 1 - Бібліографічні посилання

1. Вивчення режиму підземних і поверхневих вод на території ставка-накопичувача шахтних вод балки Свистунова. Звіти ДП «Укрчорметгеологія», Криворізька геолого-гідрогеологічна партія. – 2007-2017 рр.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул /Е.Н. Львовский. М.:Высшая школа, 1988. – 239 с.
3. Мониторинг геологічного середовища Кривбасу: Звіт про НДР / Криворізька геолого-розвідувальна партія(КГРП); Керівник Т. Н. Кулькова. – №4024. –Кривий Ріг, 2000. – 206 с.
4. Багрий І.Д., Гожик П.Ф., Самоткал Е.В. та ін. Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення. – К.: Фенікс, 2005. – 216 с.
5. Хільчевський В.К. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу: монографія / В.К. Хільчевський, Р.Л. Кравчинський, О.В. Чунарьов. – Київ : Ніка-Центр, 2012. – 180 с.
6. Шерстюк Н.П. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу: монографія / Н.П. Шерстюк, В.К. Хільчевський. - Дніпропетровськ : ТОВ "Акцент ПП", 2012. – 264 с.
7. Довідка про місячні суми та багаторічні норми опадів у Кривому Розі за 2016 та 2017 р. Авіаметеостанція м. Кривий Ріг.
8. Дослідження гідрологічного та гідрогеологічного режиму та визначення джерел забруднення р. Інгулець в районі діяльності підприємств Кривбасу у Дніпропетровській області. Державний регіональний проектно-вишукувальний інститут «Дніпродіпроводгосп». Звіт 1860-ЗВ, Т. 1. – Д., 2007. – 173 с.
9. Оценить на основе гидродинамического и гидрохимического моделирования зоны влияния и масштабы загрязнения подземных водоносных горизонтов фильтрационными водами из пруда-накопителя в б. Свистунова. Х.-д. №14 пр-123-05 от 20.12.05. Заключительный отчет. Харьков. 2006. АОЗТ «Тяжпромавтоматика». – 65 с.
10. Методичні рекомендації інституту ПАТ “Укрводпроект” “Ставок-накопичувач шахтної води в балці Свистунова. Розрахунок балансу шахтних вод”, Київ. – 2011.
11. Рудаков Д.В., Воробйова Т.І. Прогнозування фізико-хімічних змін водотривких порід під впливом накопичувачів рудничних вод (на прикладі Кривбасу). – Науковий вісник НГУ. – 2008. – №5. – С. 63–66.
12. Васильев С.В., Веригин Н.Н., Глейзер Б.А. и др. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем/ Под ред. Н.Н. Веригина. – М.: Колос, 1970. – 439 с.
13. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян и др., М.: Недра, 1977. – 271 с.
14. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод.– М.: Недра, 1986. – 208 с.
15. Гидрогеологические исследования за рубежом / Под.ред. Н.А.Маринова. М.: Недра, 1982. – 428 с.
16. Обстеження технічного стану ставка-накопичувача шахтних вод у балці Свистунова в 2016 році та паспортизація споруд. ПАТ “Укрводпроект” “, Київ. – 2017р.

17. Результати досліджень моніторингу поверхневих вод р. Інгулець в програмній системі «МОНІТОРИНГ ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ» Державного агентства водних ресурсів України розміщених на сайті <http://watermon.iisd.com.ua/>.
18. Данні моніторингових спостережень по гідропосту Андріївка Дніпропетровського обласного управління водних ресурсів за 2010-2017 рр.
19. Результати гідрохімічних вимірювань в р. Інгулець, в окремих пунктах спостережень Дніпропетровського обласного управління водних ресурсів за 2008 по 2017 рр..
20. Показники якості дніпровської води, яка залучалася в басейн р. Інгулець по каналу «Дніпро-Інгулець». Дані спостережень управління каналу «Дніпро-Інгулець» за 2012-2017рр.
21. Дані моніторингових спостережень по Карачунівському водосховищі на р. Інгулець та каскаду водосховищ на р. Саксагань ДПП «Кривбаспромводопостачання» за 2012-2017рр.
22. Результати контролю кінцевого випуску обвідного каналу в р. Інгулець ПАТ «ПВДГЗК» за 2017 рік.
23. Результати контролю випуску очищених стоків Південної станції аерації КОС в р. Інгулець КП «Кривбасводоканал» за 2017 рік.
24. Дані гірничорудних підприємств Кривбасу щодо обсягів відкачки шахтних вод за 2008-2017рр.
25. Данні ДП «Кривбасшахтозакриття» щодо рівнів та обсягів акумуляції шахтних вод з ставку-накопичувачу та їх скиду в р. Інгулець за 2008-2017рр.