МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК

з дисципліни

«ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»

для студентів спеціальності
«Екологія та охорона навколишнього середовища»

Одеса 2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
з дисципліни
«ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ»
для студентів спеціальності
«Екологія та охорона навколишнього середовища»

«Затверджено»
на засіданні методичної комісії
природоохоронного факультету
Протокол № від 2013р.

Одеса 2013

Збірник методичних вказівок з дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» для студентів спеціальності 7(8).04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища». / Сафранов Т.А., Нагаєва С.П., Берлінський М.А., Мохонько В.І. – Одеса: ОДЕКУ, 2013. – 53с.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ…… 4

ВСТУП…….....5

1. ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ НА ОСНОВІ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИФУЗІЙНОГО СОЛЕПЕРЕНОСУ……..8

2. ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ……12

3. ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНІ ЗАБРУДНЕНОСТІ ГРУНТІВ ДНОПОГЛИБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЗБИТКІВ ПРИ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ І ДАМПІНГУ ГРУНТІВ……16

4. ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ НАКОПИЧУВАЧІВ РІДКИХ ВІДХОДІВ……28

5. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНИХ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА СКЛАД ГРУНТОВИХ ВОД…….33

6. ЯКІСНА ОЦІНКА СТУПЕНЯ ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕННОСТІ ГРУНТОВИХ ВОД……..39

7. КІЛЬКІСНА ОЦІНКА СТУПЕНЯ ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕННОСТІ ГРУНТОВИХ ВОД……44

8. ОЦІНКА ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕННОСТІ ГРУНТОВИХ ВОД ВІД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ МАСОПЕРЕНОСУ…….48

9. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВИХ ВОД ВНАСЛІДОК ВИКИДУ В АТМОСФЕРУ РЕЧОВИН ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ……..50

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВГ - водоносний горизонт
ВМ - важкі метали
ҐВ - ґрунтова вода
ГДВ - гранично допустимий викид
ГДК - гранично допустима концентрація
ГС - геологічне середовище
ЗР - забруднювальна речовина
НПС - навколишнє природне середовище
НС - навколишнє середовище
ПВ - підземна вода
ПЗ - показник захищеності
ХЕ - хімічний елемент
LC_{50} - середня летальна концентрація
LD_{50} - середня летальна доза

ВСТУП

З виникненням людини і розвитком її виробничої діяльності до людства починає переходити роль основного геологічного чинника. Ця теза В.І. Вернадського покладена в основу розуміння ноосфери - цілісної планетної оболонки, населеної людством і раціонально перетвореної ним відповідно до законів збереження і підтримки життя для гармонійного співіснування суспільства з навколишніми природними умовами. Ноосфера - це поняття, що орієнтує людство в оптимальному виборі шляху подальшого розвитку і збереження людської спільноти.

Всі глобальні екологічні катастрофи в історії Землі зумовлювались різними природними планетарними і космічними причинами. Тепер же одним з головних чинників порушення стійкості біосфери стає антропогенна діяльність, яка у всіх її складних і різноманітних формах порушує глобальну екологічну рівновагу. Нерозумна антропогенна діяльність, в першу чергу в межах літосфери, а, точніше, в найбільш верхній частині земної кори, вносить величезний дисбаланс в рівновагу біосфери.

Взаємодія людини з навколишнім природним середовищем (НПС), включаючи верхні шари літосфери, - проблема не нова, і вона іде своїми коренями в далеке минуле. Розвиток еколого-геологічних досліджень потребує реалізації нових методичних напрямків, які дозволили б здійснити управління станом геологічної складової НПС (охороною, оптимальним використанням та захистом). Природні і техногенні зміни, які відбуваються в літосфері, приводять до активного енергомасопереносу і виражаються в геологічних процесах. Збільшення техногенного навантаження супроводжується різким посиленням дії небезпечних геологічних процесів, що протікали, або формуванням нових. У зв’язку із цим особливо важливе значення має аналіз і оптимізація взаємодії в системі «живі організми – геологічне середовище».

Екологічні кризи, деградація і часткове вимирання біоти – наслідок порушення екологічних функцій літосфери в процесі прогресуючого техногенезу. Слід зазначити, що при оцінці екологічної ситуації територій зазвичай недостатньо враховується роль «геологічної матриці» у функціонуванні живих організмів і людського суспільства. У цьому зв'язку еколого-геологічна оцінка територій та їхніх окремих частин є дуже актуальною задачею сьогодення.

Дисципліна «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» викладається при підготовці студентів-бакалаврів за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

Дисципліна «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» належить до професійно-орієнтованого циклу.

Вивчення дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» базується на знаннях, отриманих з таких фундаментальних навчальних дисциплін, як «Геологія з основами геоморфології», «Гідрологія», «Ґрунтознавство», «Загальна екологія та неоекологія», «Техноекологія» та інших, а отримані знання будуть використовуватись у подальшому при вивченні таких дисциплін: «Екологічна безпека», «Методи оцінки якості природних вод», «Екологічний аудит», «Екологічні аспекти використання морського середовища» та ін.

Метою вивчення дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» є: вивчення основних складових геологічного середовища, екологічних властивостей і функцій літосфери (геологічного середовища), критеріїв оцінки геолого-екологічних умов окремих територій, основних причин та негативних наслідків техногенного впливу на геологічне середовище, факторів техногенного забруднення підземних вод та показників їх захищеності від техногенного навантаження.

Завдання дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» - формування у студентів, майбутніх фахівців у галузі екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування теоретичних знань та практичних навичок щодо оцінки екологічних властивостей і функцій геологічного середовища, еколого-геологічного районування окремих територій з урахуванням вплив геологічного середовища на стан здоров'я населення, виявлення причини та негативних наслідків техногенного впливу на геологічне середовище то його складові.

Після освоєння дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» студенти повинні *знати:* властивості складових геологічного середовища, екологічні функції літосфери, критерії оцінки геолого-екологічних умов окремих територій, показники впливу геологічного середовища на здоров'я людини, основні причини та негативні наслідки техногенного впливу на геологічне середовище, фактори техногенного забруднення підземних вод та показники їх природної захищеності, основні підходи до рішення практичних задач еколого-геологічного спрямування.

Після освоєння дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» студенти повинні *вміти*: оцінювати властивості складових геологічного середовища, визначати екологічні функції геологічного середовища, проводити оцінку геолого-екологічних умов окремих територій, визначити фактори техногенного впливу на геологічне середовище, оцінювати рівень техногенного забруднення складових геологічного середовища (у т.ч. підземних вод), виконувати розрахунки, що пов'язані з оцінкою техногенного впливу на гірські породи і родючі ґрунти, донні відкладення і підземні води.

Основне навчально-методичне забезпечення при вивченні дисципліни «Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище» складають:

- *Сафранов Т.А., Чепіжко О.В., Коніков Є.Г.* та ін. Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище. Підручник. - Одеса: Екологія, 2012. - 272 с.

- *Сафранов Т.А., Польовий А.М., Коніков Є.Г.* та ін. Антропогенне забруднення геологічного середовища та грунтово-рослинного покриву. Навчальний посібник. - Одеса: «ТЭС», 2003. - 260 с.

- *Сафранов Т.А.* Оцінка техногенного впливу на ґрунти та підземні води. Конспект лекцій. – Одеса: ОДЕКУ, 2003. – 58 с.

- *Збірник методичних вказівок* для практичних занять студентів з дисципліни «Оцінка техногенного впливу на ґрунти та підземні води» / Сафранов Т.А., Коніков Є.Г., Полетаєва Л.М., Ротар М.Ф. і ін. – Одеса: ОГМІ, 1999. – 97 с.

- *Методичні вказівки* по організації самостійної роботи студентів при вивченні навчальної дисципліни «Оцінка техногенного впливу на ґрунти та підземні води» для студентів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища» / Сафранов Т.А., Нагаєва С.П., Кузьміна В.А. - Одеса: ОДЕКУ, 2003. - 12 с.

Крім того, у тексті є посилання на джерела інформації, які використовуються при виконанні окремих практичних робіт.

1 ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ НА ОСНОВІ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИФУЗІЙНОГО СОЛЕПЕРЕНОСУ

Внаслідок експлуатації накопичувачів рідких промислових відходів, полігонів твердих побутових відходів, витоку з каналізації та інших об'єктів створюють умови для хімічного забруднення ґрунтів, тому вміст деяких ЗР перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК). Наприклад, для будівництва накопичувачів рідких відходів, як правило, вибираються ерозійні форми рельєфу (яри, балки, ділянки висохлих річок тощо).

Розглянемо такий приклад. В ділянці висохлої річки проектується ставок-накопичувач рідких відходів хімічного виробництва у складі яких домінують розчини хлоридів лужних металів. Проектна глибина ставка-накопичувача 10м.

Характеристика інженерно-геологічних умов: 1) за даними буріння встановлено, що ерозійний вріз виповнено в дуже щільних глинистих ґрунтах твердої консистенції, які можна вважати майже непроникними; 2) ерозійний вріз заповнено мулисто-глинистими ґрунтами середньої потужності 12 м; 3) за даними лабораторних досліджень мулисто-глинисті ґрунти характеризуються такими параметрами: природна вологість (W_n) коливається від 0,45 до 0,86 (середня 0,61); пористість (n) від 0,5 до 0,72; ґрунти повністю водонасичені; коефіцієнт фільтрації (κ_ϕ) менше 0,1 м/д.

Загально відомо, що при $\kappa_\phi < 0{,}1$ м/д міграція розчинених ЗР в ґрунтах визначається переважно законами молекулярної дифузії (*И.С. Пашковский*, А.А. Рошаль, 1995; *С.И. Смирнов*, 1971, 1980). У зв'язку з цим виконувалися експериментальні дослідження і виміри величин коефіцієнту ефективної дифузії (D_e), яка дорівнює $(0{,}36\text{-}0{,}78)\cdot 10^{-4}$ м^2/д, при середній величині $0{,}50\cdot 10^{-4}$ м^2/д. Середня концентрація хлоридів в порових водах (C_o) мулисто-глинистих ґрунтів складає 12 г/дм^3. В ставку-накопичувачі рідких відходів проектна концентрація хлоридів лужних металів (C_{Cl}) буде дорівнювати 150 г/дм^3, причому цю концентрацію планується підтримувати протягом всього терміну існування ставка-накопичувача, тобто $C_{Cl} = const$.

Таким чином, створюється градієнт концентрації $\Delta C_{Cl} = C_{Cl} - C_o$, і як слідство виникають умови молекулярно-дифузійного засолення мулисто-глинистих ґрунтів, що буде тривати певний час t до повного вирівнювання концентрацій хлоридів. Для того, щоб визначити розподіл концентрації розчинених хлоридів в порових водах ґрунтів за строк t_j, глибину дифузійної зони та термін повного засолення ґрунтового масиву необхідно вирішити рівняння нестаціонарної дифузії Фіка:

$$dx/dt = D_e(d^2 \cdot c/d \cdot h), \qquad (1.1)$$

до початкових граничних умов: $C_x = C_{Cl}$ при $h = 0$ і $t > 0$; $C_x = C_o$ при $h > 0$ і $t = 0$; Це рішення має вигляд:

$$C_x = C_o / C_{Cl} - C_o = erfc\,(z),\ Z = h_j / 2\sqrt{D_t} \quad , \qquad (1.2)$$

де *erfc* (*z*) – інтеграл імовірності (Додаток І, табл. І.1); h_j – відстань від поверхні ропи до дна ставка-накопичувача, м; D_t $h = F_o$ – *критерій* Фур'є, який характеризує інтенсивність процесу дифузії. Процес дифузії практично припиняться при $F_o >> 1{,}5$.

Глибину дифузійної зони можна підрахувати за формулою

$$h_j \approx 4\sqrt{D_{tj}} \qquad (1.3)$$

Час остаточного засолення ґрунтового масиву визначається експериментально за формулою

$$t \approx 1{,}676\ h_j^{\,2} / D_e. \qquad (1.4)$$

Приклад оцінки процесів хімічного забруднення ґрунтів на основі молекулярно-дифузійної солепереносу.

Дати оцінку процесів хімічного забруднення ґрунтів на основі молекулярно-дифузійної солепереносу при таких вихідних даних:

- концентрація хлоридів в порових водах глинистих порід (C_o) = 10 г/дм^3 = 10000 мг/дм^3;
- концентрація хлоридів в рідких відходах у ставку-накопичувачі (C_{Cl}) = 100 г/дм^3 = 100000 мг/дм^3;
- коефіцієнт ефективної дифузії (D_e) = 0,4 м^3/д;
- потужність товщі донних викладів (H) = 10 м.

За формулою (1.2) слід розрахувати концентрацію хлоридів у порових водах ґрунтів (C_x) на глибинах 1, 2, 3, 5, 10 м за п'ять років (1825 діб), користуючись значеннями функції *erfc* (табл. 1.1).

Далі визначаємо концентрацію солей у порових водах на зазначених вище глибинах:

1) для h_j = 1 м; z = 0,0185; *erfc* (z) = 0,981; C_x = 98290 г/м^3;
2) для h_j = 3 м; z = 0,0555; *erfc* (z) = 0,944; C_x = 94960 г/м^3;
3) для h_j = 5 м; z = 0,0925; *erfc* (z) = 0,903; C_x = 91270 г/м^3;
4) для h_j = 7 м; z = 0,129; *erfc* (z) = 0,870; C_x = 88300 г/м^3;
5) для h_j = 10 м; z = 0,185; *erfc* (z) = 0,813; C_x = 83170 г/м^3.

Побудова епюри концентрації хлоридів в порових водах ґрунтів за цими даними в довільному масштабі не становить труднощів.

Завдання для самостійної роботи.

1. Підрахувати величини концентрації солей в порових водах ґрунтового масиву (C_x) з інтервалом 0,5м для t 1, 5, 10, 25 років (вихідні дані – табл. 1.2).
2. Визначити глибини дифузійного проникнення зони дифузійного засолення за формулою (10.3) для 1, 5, 10, 25 років.
3. Визначити час остаточного засолення ґрунтового масиву за формулою (1.4).

Таблиця 1.1 – Таблиця функцій *erf* (*z*) і *erfc* (*z*)

z	*erf* (*z*)	*erfc* (*z*)	*z*	*erf* (*z*)	*erfc* (*z*)	*z*	*erf* (*z*)	*erfc* (*z*)
0,00	0,00	1,000	0,41	0,438	0,562	0,81	0,748	0,252
0,01	0,001	0,989	0,42	0,448	0,552	0,82	0,754	0,246
0,02	0,023	0,977	0,43	0,457	0,543	0,83	0,760	0,240
0,03	0,034	0,966	0,44	0,457	0,534	0,84	0,765	0,235
0,04	0,045	0,955	0,45	0,476	0,524	0,85	0,771	0,229
0,05	0,056	0,944	0,46	0,485	0,515	0,86	0,776	0,224
0,06	0,067	0,933	0,47	0,494	0,506	0,87	0,781	0,219
0,07	0,079	0,921	0,48	0,503	0,497	0,88	0,787	0,213
0,08	0,090	0,910	0,49	0,512	0,488	0,89	0,792	0,208
0,09	0,101	0,899	0,50	0,520	0,480	0,90	0,797	0,203
0,10	0,113	0,887	0,51	0,529	0,471	0,91	0,802	0,198
0,11	0,124	0,876	0,52	0,538	0,462	0,92	0,807	0,193
0,12	0,135	0,865	0,53	0,547	0,453	0,93	0,812	0,188
0,13	0,146	0,854	0,54	0,555	0,445	0,94	0,816	0,184
0,14	0,157	0,843	0,55	0,563	0,437	0,95	0,821	0,179
0,15	0,168	0,832	0,56	0,572	0,428	0,96	0,825	0,175
0,16	0,171	0,829	0,57	0,580	0,420	0,97	0,830	0,170
0,17	0,190	0,810	0,58	0,588	0,412	0,98	0,834	0,166
0,18	0,201	0,799	0,59	0,596	0,413	0,99	0,839	0,161
0,19	0,211	0,789	0,60	0,604	0,396	1,00	0,843	0,157
0,20	0,223	0,777	0,61	0,612	0,388	1,05	0,862	0,138
0,21	0,224	0,766	0,62	0,619	0,381	1,10	0,880	0,120
0,23	0,255	0,745	0,64	0,635	0,365	1,20	0,910	0,090
0,24	0,266	0,734	0,65	0,642	0,358	1,25	0,923	0,070
0,25	0,276	0,724	0,66	0,649	0,351	1,30	0,934	0,066
0,26	0,287	0,713	0,67	0,657	0,343	1,35	0,944	0,056
0,27	0,297	0,703	0,68	0,664	0,336	1,40	0,952	0,048
0,28	0,308	0,692	0,69	0,671	0,329	1,45	0,960	0,040
0,29	0,318	0,682	0,70	0,678	0,322	1,50	0,964	0,036
0,30	0,329	0,671	0,71	0,685	0,315	1,60	0,976	0,024
0,31	0,339	0,661	0,72	0,691	0,309	1,70	0,984	0,016
0,32	0,349	0,651	0,73	0,698	0,302	1,80	0,989	0,011
0,33	0,359	0,641	0,74	0,705	0,295	1,90	0,993	0,007
0,34	0,369	0,631	0,75	0,711	0,289	2,00	0,9952	0,0048
0,35	0,379	0,621	0,76	0,718	0,282	2,10	0,997	0,003
0,36	0,389	0,611	0,77	0,724	0,276	2,20	0,9981	0,0019
0,37	0,399	0,601	0,78	0,730	0,270	2,30	0,99883	0,00177
0,38	0,409	0,591	0,79	0,736	0,264	2,40	0,9993	0,0007
0,39	0,419	0,581	0,80	0,742	0,258	2,50	0,99958	0,00042
0,40	0,428	0,572						

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для самостійної роботи

№ варіанту	Концентрація хлоридів в порових водах ґрунту (C_o), г/м^3	Концентрація хлоридів в рідких відходах у ставку (C_{Cl}), г/м^3	Коефіцієнт дифузії (D_e), м^3/д	Потужність донних викладів (Н), м
1	10000	100000	0,4	10
2	15000	150000	0,5	12
3	20000	200000	0,6	11
4	17000	170000	0,3	14
5	16000	160000	0,4	13
6	14000	140000	0,6	11
7	10000	100000	0,3	10
8	11000	110000	0,4	15
9	16000	160000	0,5	15
10	18000	180000	0,5	10
11	17000	170000	0,4	10
12	19000	190000	0,4	12
13	20000	200000	0,6	14
14	10000	100000	0,3	17
15	15000	150000	0,7	14
16	10000	100000	0,4	12
17	17000	170000	0,6	13
18	16000	160000	0,5	15
19	17000	170000	0,4	10
20	18000	180000	0,4	13
21	11000	110000	0,3	11
22	12000	120000	0,4	12
23	13000	130000	0,4	12
24	14000	140000	0,5	14
25	15000	150000	0,6	15

2 ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Оцінка рівня аномальності вмісту хімічного елементу (ХЕ) проводиться за *коефіцієнтом концентрації* (K_c), що розраховується як відношення вмісту елемента *i*-го виду в досліджуваному об'єкті (C_i) до фонового значення ($C_ф$):

$$K_c = C_i / C_ф \qquad (2.1)$$

У випадку поліелементного складу техногенної або природної аномалії розраховуються *сумарний показник забруднення* (Z_c), який характеризує ефект впливу на групи елементів. Цей показник розраховується за формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{n} K_c - (n-1), \qquad (2.2)$$

Де n – число аномальних компонентів (ХЕ), що враховуються; K_c - коефіцієнт концентрації, рівний кратності перевищення вмісту даного компонента (ХЕ) над фоновим значенням; K_p - коефіцієнт відносного збільшення загального навантаження.

За значеннями Z_c для важких металів запропоновано оціночну шкалу системи «ґрунт – людина» (*Ю.Е Сает*, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, 1990): 1) *припустимий* ступінь забруднення (Z_c < 16); 2) *помірний* ступінь забруднення (Z_c = 16-32); 3) *небезпечний* ступінь забруднення (Z_c = 32-128); 4) *надзвичайно небезпечний* ступінь забруднення (Z_c > 128). При цьому не враховуються класи гігієнічної небезпеки; той самий ступінь забруднення може спричинятись різними важкими металами.

У випадку полікомпонентного техногенного забруднення розраховується також *комплексний показник забруднення* (КПЗ) за формулою (*Збірник* важливих офіційних матеріалів…, 1996):

$$КПЗ = \sum_{i=1}^{n} Ki \,, \qquad (2.3)$$

де $K_i = C_i$ /ГДК$_i$, n – число ЗР.

Еколого-геохімічна оцінка забруднення родючих ґрунтів за КПЗ наведена в таблиці 2.1 (n – кількість елементів, що включені у розрахунки).

Оцінити рівень забруднення ґрунтів важкими металами у ландшафтах лісостепової зони України, використовуючи сумарний показник забруднення (Z_c) та комплексний показник забруднення (КПЗ).

Вихідні дані наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Орієнтована шкала оцінки небезпеки забруднення ґрунтів за КПЗ

Рівень забруднення ґрунтів	Величина КПЗ
Помірний	N < КПЗ < $3n$
Високий	$3n$ < КПЗ < $10n$
Надзвичайно високий	КПЗ > $10n$

Таблиця 2.2 – Вміст важких металів в родючих ґрунтах за даними опробування

Вміст металу у пробі родючого ґрунту (C_i), мг/кг						
Cu	*Co*	*V*	*Pb*	*Ni*	*Zn*	*Mn*
2,5	4,0	240,0	50,0	0,2	10,0	58000
Фонові значення металів в родючому ґрунті ($C_ф$), мг/кг						
27,8	8,3	52,8	22,4	21,9	27,8	702,3

Величина сумарного показника забруднення (Z_c) розраховується за формулою 2.2.

$$Z_C = (\frac{2,5}{27,8} + \frac{4,0}{8,3} + \frac{240,0}{52,8} + \frac{50,0}{22,4} + \frac{0,2}{21,9} + \frac{10}{27,8} + \frac{58000}{702,3}) - (7-1) = 84 .$$

Величина сумарного показнику забруднення (Z_c) в даному випадку відповідає *небезпечному рівню* забруднення (*Ю.Е Сает*, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, 1990).

Величина комплексного показника забруднення КПЗ розраховується за формулою 2.3.

$$КПЗ = \frac{2,5}{3,0} + \frac{4,0}{5,0} + \frac{240,0}{150,0} + \frac{50,0}{30,0} + \frac{0,2}{4,0} + \frac{10}{23,0} + \frac{58000}{1500} = 44,1.$$

Величина КПЗ в даному випадку відповідає *високому рівню* забруднення ґрунтів (табл. 2.1) .

Завдання для самостійної роботи

Оцінити рівень забруднення родючих ґрунтів у ландшафтах лісостепової зони України, використовуючи сумарний показник забруднення (Z_c) та комплексний показник забруднення (КПЗ).

Вихідні дані наведені у таблиці 2.3. Фонові концентрації важких металів у степових ландшафтах України наведені у таблиці 2.4. ГДК важких металів наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 – Вміст важких металів у ґрунтах за даними опробування

Номер варіанту	Вміст металу у пробі (C_i), мг/кг						
	Cu	*Co*	*V,C*10²*	*Pb,C*10¹*	*Ni*	*Zn,C*10¹*	*Mn,C*10⁴*
1	2,2	4,5	2,7	5,5	0,2	1,0	3,8
2	2,0	8,2	2,0	2,0	0,6	3,4	7,3
3	8,2	7,6	0,8	0,5	0,4	2,8	10,2
4	7,6	7,0	2,2	1,0	0,3	3,3	8,1
5	7,0	1,5	0,8	2,0	0,2	5,6	4,9
6	1,5	6,0	0,2	0,5	0,1	4,5	4,3
7	6,0	5,4	1,8	0,7	0,6	2,0	3,4
8	5,4	4,2	1,5	0,5	0,8	4,5	5,2
9	4,2	3,6	0,2	2,0	0,1	4,8	7,6
10	3,6	3,8	3,2	3,0	0,7	2,8	6,8
11	3,8	2,5	3,6	2,0	0,2	3,3	5,0
12	2,5	3,6	1,9	1,0	0,1	2,6	4,2
13	3,6	3,6	2,7	3,0	0,1	2,8	2,5
14	3,6	3,4	3,6	2,2	0,2	5,5	5,0
15	3,4	1,2	0,1	2,5	0,1	6,5	5,0
16	1,2	2,3	4,5	5,5	0,2	2,0	5,5
17	2,3	3,4	7,0	2,0	0,8	1,5	5,8
18	3,4	4,7	3,4	5,0	0,5	1,0	6,5
19	4,7	3,8	1,2	1,0	0,4	1,4	5,8
10	3,8	2,4	2,0	0,7	0,5	2,8	4,8
21	2,4	3,8	0,7	5,0	0,3	3,0	7,0
22	3,8	9,4	5,0	3,0	0,4	2,6	4,2
23	9,4	7,4	2,8	0,5	0,6	3,0	6,5
24	7,4	5,6	1,5	1,5	0,9	2,8	9,2
25	2,2	2,7	3,0	0,8	1,1	3,1	2,2

Таблиця 2.4 – Статистичні оцінки вмісту важких металів у ґрунтах локальних геохімічних ландшафтів лісостепової зони України

Мікроелементи	*Pb*	*Mn*	*Ni*	*V*	*Cu*	*Zn*	*Co*
Фонові концентрації, мг/кг	22,4	702,3	21,9	52,8	27,8	68,4	8,3
Кларки важких металів	17	700	70	150	55	95	19

Таблиця 2.5 - ГДК окремих хімічних речовин в ґрунтах і допустимий вміст за показником шкідливості

Найменування	Клас небезпеки	Форма, вміст	ГДК, мг/кг ґрунту з урахуванням фону	Показник шкідливості (K_{max})			
				K_1	K_2	K_3	K_4
Zn	1	рухома	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Cu	2	-«-	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Ni	2	-«-	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Co	2	-«-	5,0	25,0	> 1000,0	-	5,0
Cr	2	-«-	6,0	6,0	6,0	-	6,0
F	1	водороз-чинна	10,0	10,0	10,0	-	25,0
Pb	1	валовій вміст	30,0	35,0	260,0	-	30,0
As	1	-«-	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Hg	1	-«-	2,1	2,1	33,0	2,5	5,0
Pb + Hg	1	-«-	20,0+1,0	20,0 +1,0	30,0+2,0	-	50,0+2,0
Sb	2	-«-	4,5	4,5	4,5	-	50,0
Mn	3	-«-	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0
V	3	-«-	150,0	170,0	350,0	-	150,0
Mn + V	3	-«-	1000,0 +100,0	1500,0 +150,0	2500,0 +200,0	-	1000,0 +100,0
H_2S	3	-«-	0,4	160,0	140,0	0,4	160,0
H_2SO_4	1	-«-	160,0	180,0	380,0	-	160,0
NO_3^-	2	-«-	130,0	180,0	130,0	-	225,0
Бензол	2	-«-	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0
Толуол	2	-«-	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0
Альфаметилстирол	2	-«-	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Стирол	2	-«-	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0
Ксилол	2	-«-	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0

3 ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНІ ЗАБРУДНЕНОСТІ ГРУНТІВ ДНОПОГЛИБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЗБИТКІВ ПРИ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБОТАХ І ДАМПІНГУ ҐРУНТІВ

При здійсненні днопоглиблювальних робіт і дампінгу ґрунтів основними параметрами водного середовища, що змінюються, є: режим каламутності; гідрохімічний режим; умови мешкання водних організмів; рельєф дна ділянки проведення робіт.

Вимоги щодо охорони навколишнього середовища при днопоглибленні базуються на положеннях "Закону про охорону навколишнього природного середовища України" (1991 р.) і зобов'язаннях України, які витікають із "Конвенції по захисту Чорного моря від забруднення" (1992 р.). Нормативні ж документи України, що б регламентували проведення днопоглиблювальних робіт і дампінг відсутні.

При розробці і скиданні ґрунтів не допускається погіршення якості водного середовища в районі виконання робіт, яке може спричинити шкідливий вплив на біологічні ресурси, як в зоні проведення робіт, так і за її межами. Терміни проведення днопоглиблення необхідно призначати на період, який не співпадає з життєво важливими біологічними ритмами живих організмів (нерест і міграція риб, періоди інтенсивного розмноження бентосу та інші).

Основним засобом запобігання погіршенню якості водного середовища при днопоглибленні є попереднє дослідження складу і властивостей ґрунтів, що розробляються.

Результати досліджень повинні використовуватися при обґрунтуванні екологічної безпеки проведення днопоглиблення.

Аналітичні дослідження ґрунтів необхідно провести на стадії техніко-економічного обґрунтування при капітальному днопоглибленні і при підготовці матеріалів для отримання дозволу на ремонтне днопоглиблення.

При цьому повинні бути визначені фізичні властивості, хімічний склад, санітарно-гігієнічні показники.

Вивчення донних відкладів (відбір проб) повинно розповсюджуватися на всю товщу (потужність) ґрунтів, що розробляються.

Класифікація ґрунтів днопоглиблення за мірою їх забрудненості була введена у вітчизняній практиці уперше, і її концептуальна відмінність від існуючих зарубіжних аналогів полягає в домінуванні екологічних принципів оцінки впливу дампінгу на водне середовище над економічними міркуваннями. Це виражається в значному посиленні критеріїв, що визначають міру припустимості дампінгу того або іншого класу ґрунтів днопоглиблення.

Внаслідок багатогранного характеру взаємодії скинутого у воду ґрунту з конкретної екосистеми, класифікація, що пропонується, є узагальненням

лише найважливіших чинників, які визначають процес зміни природного стану морського середовища від техногенного втручання.

Дія класифікації розповсюджується на об'єкти капітальних і ремонтних робіт днопоглиблення, розташованих у шельфовій зоні Чорного і Азовського морів. Причому обмеження, що накладаються на умови видалення і розміщення ґрунтів днопоглиблення в залежності від їх класу, обов'язкові для виконання.

У таблиці 3.1 представлена класифікація ґрунтів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну за мірою їх забрудненості. Тут прийняті наступні позначення класів:

клас А - природно-чистий ґрунт (еталон);

клас І - умовно чистий ґрунт, який не є небезпечним для морського середовища;

клас ІІ - помірно забруднений і забруднений ґрунт; дампінг можливий після компенсації збитку морському середовищу і рибному господарству; бажана утилізація, раціональне використання ґрунтів днопоглиблення (берегові відвали, будівельні матеріали);

клас ІІІ - сильно забруднений ґрунт; скидання в морське середовище можливе лише за отриманням спеціальної технології; подавання на берег небажане; бажана утилізація.

клас ІV - токсичний ґрунт; можливе тільки поховання за спеціальною технологією, подавання на берег можливе лише після попереднього знешкодження і збагачення ґрунтів.

Загальним критерієм, що визначає клас ґрунту по мірі забрудненості, є інтегральний показник, який є сумою відношень середніх концентрацій кожного інгредієнта ЗР в пробах ґрунту до відповідної концентрації інгредієнта в еталонному класі (*клас А*).

Якщо один із інгредієнтів забруднюючих речовин має концентрацію, що перевищує напівсуму граничних значень для класу, визначеного за інтегральним показником, і рядком вартого більш високого класу, то ґрунт потрібно віднести до більш високого класу.

Регламентація вмісту радіонуклідів в донних відкладах, методи дослідження і критерії гігієнічної оцінки приймаються відповідно до вимог міжнародних і національних норм радіаційної безпеки (НРБ).

Необхідність індикації збудників інфекційних захворювань визначається результатами санітарного обстеження районів днопоглиблення по узгодженню з територіальними органами санітарно-епідеміологічного нагляду МОЗ України.

Таблиця 3.1 - Класифікація ґрунтів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну по ступіні їх забрудненості

Інгредієнти (мг/кг) і параметри	Класи				
	А	**І**	**ІІ**	**ІІІ**	**ІV**
Кадмій (*Cd*)	≤ 1,0	> 1,0	> 2,0	> 3,0	> 5,0
Ртуть (*Hg*)	≤ 0,1	> 0,1	> 0,2	> 0,3	> 0,5
Свинець (*Pb*)	≤ 10	> 10	> 20	> 100	> 200
Цинк (*Zn*)	≤ 60	> 60	> 80	> 150	> 400
Мідь (*Cu*)	≤ 30	> 30	> 50	> 100	> 250
Миш'як(*As*)	≤ 5,0	> 5,0	> 6,0	> 8,0	> 10
Загальний фосфор	≤ 670	> 670	> 800	> 1000	> 1200
Загальний фтор	≤ 200	> 200	> 400	> 500	> 600
Цианіди	не знайдені				
Нафтопродукти	≤ 100	> 100	> 200	> 300	> 1000
Феноли	≤ 1,0	> 1,0	> 1,5	> 2,0	> 3,0
Coli – index	відсутня	$4 \cdot 10^2$ -$8 \cdot 10^4$	10^4-$1.2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$-$3 \cdot 10^6$	> 10^6
Мікробне число (загальна кількість бактерій)	відсутня	10^2-$9{,}5 \cdot 10^4$	$1{,}8 \cdot 10^4$-$4 \cdot 10^5$	10^5-$9 \cdot 10^6$	> $2{,}9 \cdot 10^6$
Санітарно–токсичний показник дегенерація культури клітин)	відсутня	++ помірна	+++ виражена	тотальна	
Інтегральний коеф. забрудненості по відношенню до еталону	еталон	≤ 15,0	≤ 30	≤ 60	> 60

Кількість проб донного відкладення визначається, виходячи з об'єму ґрунтів, що підлягають розробці: 1) якщо об'єм ґрунту менше за 100 тис. $м^3$ - кількість проб 6 шт.; 2) якщо об'єм ґрунту від 100 до 300 тис. $м^3$ - кількість проб 9 шт.; 3) якщо об'єм ґрунту від 300 до 600 тис. $м^3$ - кількість проб 12 шт.; 4) якщо об'єм ґрунту більше за 600 тис. $м^3$ - кількість проб 15 шт.

Оцінка токсичності на культурі клітини проводиться у разі наявності ризику інтенсивного забруднення морського середовища в районах днопоглиблення небезпечними хімічними речовинами, що не входять у класифікацію, надану в таблиці 3.1, і при необхідності експертної оцінки ґрунтів днопоглиблення на вимогу органів охорони здоров'я України.

Відібрані проби аналізуються по повній, або по скороченій програмі в залежності від очікуваного класу забрудненості ґрунтів днопоглиблення. Очікуваний клас - це клас ґрунту об'єкта, розрахований по середніх багаторічних концентраціях забруднюючих речовин в ґрунтах об'єктів днопоглиблення Азово-Чорноморського басейну.

У разі очікуваної класності ґрунтів А, І і ІІ відібрані проби досліджуються за скороченою програмою. У разі очікуваної класності ґрунтів ІІІ і IV проби досліджуються по повній програмі.

Скорочена програма передбачає проведення наступних спостережень і аналізів:

- фізичних властивостей (гранулометричний склад з визначенням часток фракції, що викликає каламутність, %; природна вологість, %; щільність ґрунту, $т/м^3$; щільність сухого ґрунту, $т/м^3$);
- хімічного складу у мг/кг сухого ґрунту (кадмій; ртуть; свинець; цинк; мідь; миш'як; фосфор; фтор; ціаніди; нафтопродукти; феноли);
- повної програми, яка передбачає доповнення скороченої програми щодо визначення санітарно-гігієнічних показників (*Coli-index*; мікробного числа);
- оцінки токсичності методом біологічного тестування;
- оцінки повторного забруднення методом лабораторного моделювання.

Значення фізичних властивостей ґрунтів приймаються за даними інженерно-геологічних досліджень.

Якщо днопоглиблення на дільниці виконується уперше або відсутні дані попередніх досліджень, проби ґрунту досліджуються по повній програмі.

При розрахунку збитків при проведенні днопоглиблювальних робіт та дампінгу ґрунтів слід використовувати такі методичні рекомендації: «Тимчасова методика оцінки збитку, що наноситься рибним запасам в результаті будівництва, реконструкції і розширення підприємств, споруд і інших об'єктів і проведення різних видів робіт на рибогосподарських водоймищах» (рос.). - М.: 1989; «Методики розрахунку збитків, заподіяних

рибному господарству внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища». - Київ, 1995.

Загальний збиток (Y) дорівнює сумі втрат, що наносяться водним біоресурсам (Y_1) і водному середовищу (Y_2):

$$Y = Y_1 + Y_2 \qquad (3.1)$$

1. Розрахунок збитку, нанесеного рибним запасам. Коефіцієнти по кормовій базі риб взяті з «Методики розрахунку збитків, заподіяних рибному господарству внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища» (Київ, 1995). У зв'язку з тим, що при проведенні робіт основним об'єктом негативної дії є кормова база риб, величина збитку в натуральному виразі розраховується по формулі:

$$N = n_o \cdot P/B \cdot 1/K_2 \cdot K_3/100 \cdot F \cdot T \cdot 10^{-6}, \qquad (3.2)$$

де N – величина збитку від загибелі кормових організмів в т; F – об'єм/площа поразки, м^2/м^3; P/B – коефіцієнт для перекладу біомаси кормових організмів в продукцію кормових організмів; n_o – середня концентрація кормових організмів, г/м^3 води; K_2 – кормовий коефіцієнт для переведення продукції кормових організмів в рибопродукцію; K_3 – показник гранично можливого використання кормової бази рибою, %; T – коефіцієнт кратності дії, що відображає час негативної дії; 10^{-6} – множник для перекладу грамів в тонни.

Під час безповоротне відчуження частки морської акваторії розрахунок збитку в подібних випадках здійснюється по формулі (3.2), модифікованій відповідно до п. 3.3 («Тимчасова методика оцінки збитку, що наноситься рибним запасам в результаті будівництва, реконструкції і розширення підприємств, споруд і інших об'єктів і проведення різних видів робіт на рибогосподарських водоймищах» (рос.). - М.: 1989).

$$N = P_o \cdot S \cdot q \cdot 10^{-3}, \qquad (3.3)$$

де N – збиток, т; S – площа водойми, що втрачає рибогосподарське значення, га; P_o – загальна рибопродуктивність водойми по всіх видах риб, кг/га; q – поправочний коефіцієнт на різноякісність нерестових, нагульних або зимувальних площ, що визначається як відношення якісних показників даної рибогосподарської ділянки до таких самих показників, середніх для всіх подібних площ у водоймі; 10^{-3} – множник для переводу кг в т.

Згідно п. 4 («Тимчасова методика оцінки збитку, що наноситься рибним запасам в результаті будівництва, реконструкції і розширення підприємств, споруд і інших об'єктів і проведення різних видів робіт на рибогосподарських водоймищах» (рос.). - М.: 1989), вартісна величина

збитку може визначатися за допомогою розрахунку капітальних вкладень на здійснення заходів, компенсуючи збиток рибним запасам.

2. Розрахунок збитку, нанесеного водному середовищу. Розміри платежів за скиди забруднювальних речовин в поверхневі води, територіальні і внутрішні морські води визначається по формулі:

$$П_в = \sum_{i=1}^{n} [(H_{\delta i} \cdot M_{\lambda i}) + (K_n \cdot H_{\delta\, i} \cdot M_{ni})] \cdot K_T \cdot K_{ind}\,, \qquad (3.4)$$

де $П_в$ - розмір платежу, грн.; $H_{\delta i}$ - відкоректований базовий норматив оплати за викид 1 т i-ої ЗР в межах ліміту, грн./т; $M_{\lambda i}$ - маса річного скидання i-ої ЗР в межах ліміту (у даному випадку $M_{\lambda i} = 0$).

В даному випадку формула набуває вигляду:

$$П_в = \sum_{i=1}^{n} K_N \cdot H_{\delta i} \cdot M_{ni} \cdot K_T \cdot K_{ind}\,, \qquad (3.5)$$

де K_N - коефіцієнт кратності платні за понадлімітні скидання ЗР; K_T - регіональний коефіцієнт, що враховує територіальні екологічні особливості (K_T для басейнів Чорного і Азовського морів рівний 2,0); M_{ni} - маса понадлімітного річного скидання i-ої ЗР, т; K_{ind} - коефіцієнт індексації (K_{ind} = 1,116).

1. Розрахунок збитку, нанесеного рибним запасам, при розробці ґрунтів на морському барі всмоктуючими землесосами. Розробка ґрунту здійснювалася всмоктуючими самовідвозними землесосами; при розробці всього об'єму – 256998,9 м^3 ґрунту - при товщині ґрунту, що знімається, шаром близько 1,0-0,2 м; негативному впливу піддалися донні біоценози на площі 230 тис. м^2 (100 % загибель; замуленню піддалася акваторія площею близько 100 тис. м^2, де відмічалася загибель організмів до 50 %; негативна вплив на організми водної товщі відчувалася в об'ємі води, необхідному для обводнення ґрунту і створення технологічної пульпи - 1,54 млн. м^3, де відбулася загибель планктонних організмів.

Розрахунок величини збитку, нанесеного рибним запасам при розробці ґрунту на морському барі, проведений на підставі матеріалів спостережень, одержаних в листопаді 2009 р., приведений в табл. 3.2.

Підставивши чисельні значення у формулу (3.2), одержимо величину збитку від складування ґрунту в натуральному численні:

$N_ф = 0{,}611 \cdot 2 \cdot 0{,}3 \cdot 1/30 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}54 \cdot 10^6 \cdot 1/6 \cdot 10^{-6} = 0{,}003$ т;

$N_з = 0{,}117 \cdot 2 \cdot 0{,}3 \cdot 1/10 \cdot 1{,}54 \cdot 10^6 \cdot 1/6 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-6} = 0{,}002$ т;

$N_{б1} = 13{,}720 \cdot 4 \cdot 1/10 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}23 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0{,}568$ т;

$N_{б2} = 39{,}760 \cdot 4 \cdot 1/10 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}115 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}412$ т.

Таблиця 3.2 - Параметри розрахунку збитку, нанесеного рибним запасам, при розробці ґрунту

Групи кормових організмів	Середня біомаса, г/м^3, г/м^2	*P/B*	K_3,%	K_2	Об'єм, площа ураження, м^2, м^3	*T*
Фітопланктон (загибель 100%)	0,611	2	30	30	$1{,}540 \cdot 10^6$	1/6
Зоопланктон (загибель 100%)	0,117	2	30	10	$1{,}540 \cdot 10^6$	1/6
Зообентос (загибель 100%)	13,720	4	45	10	$0{,}230 \cdot 10^6$	1
Зообентос (загибель 50%)	39,760	4	45	10	$0{,}115 \cdot 10^6$	1

Звідси величина збитку, нанесеного рибним запасам в натуральному численні, склала:

$$N_p = 0{,}003 \text{ т} + 0{,}002 \text{ т} + 0{,}568 \text{ т} + 0{,}412 \text{ т} = 0{,}985 \text{ т}.$$

2. Розрахунок збитку нанесеного рибним запасам при складуванні ґрунту на морський відвал. Складування ґрунту здійснювалося шляхом вільного скидання на морський підводний відвал. При такому варіанті складування очікується первинне укладення ґрунту шаром близько 0,75 м. При складуванні 256998,9 м^3 ґрунту негативному впливу піддалися донні біоценози на площі 0,340 млн. м^2. Як показали натурні спостереження, на даній акваторії відмічалася часткова загибель донних угруповань. За акваторією відвала часткове зниження щільності донних поселень обмежене ділянкою донної поверхні площею 340 тис. м^2. Негативна дія на організми водної товщі відчувалася в об'ємі близько 6,5 млн. м^3, де відбулася загибель 20 % організмів.

Розрахунок величини збитку, нанесеного рибним запасам при складуванні ґрунту на морський відвал, проведено на підставі даних, приведених в табл. 3.3.

Підставивши чисельні значення у формулу (3.2), одержимо величину збитку від складування ґрунту в натуральному численні:

$$N_ф = 0{,}461 \cdot 250 \cdot 0{,}2 \cdot 1/30 \cdot 0{,}2 \cdot 6{,}5 \cdot 10^6 \cdot 1/6 \cdot 10^{-6} = 0{,}167 \text{ т};$$

$$N_з = 0{,}029 \cdot 32{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 1/6 \cdot 6{,}5 \cdot 10^6 \cdot 1/6 \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-6} = 0{,}031 \text{ т};$$

$$N_{б1} = 11{,}480 \cdot 2{,}6 \cdot 1/6 \cdot 0{,}55 \cdot 3{,}4 \cdot 10^5 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}465 \text{ т};$$

$$N_{б2} = 11{,}480 \cdot 2{,}6 \cdot 1/6 \cdot 0{,}55 \cdot 3{,}4 \cdot 10^5 \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-6} = 0{,}233 \text{ т}.$$

Таблиця 3.3 - Параметри розрахунку збитку, нанесеного рибним запасам, внаслідок складуванням ґрунту на морський відвал

Групи кормових організмів	Середня біомаса, г/м^3, г/м^2	*P/B*	K_3,%	K_2	Об'єм, площа ураження, м^2, м^3	*T*
Фітопланктон (загибель 20%)	0,461	250	20	30	$6{,}50 \cdot 10^6$	1/6
Зоопланктон (загибель 20%)	0,029	32,8	90	6	$6{,}50 \cdot 10^6$	1/6
Зообентос (загибель 50%)	11,480	2,6	55	6	$3{,}40 \cdot 10^5$	1
Зообентос (загибель 25%)	11,480	2,6	55	6	$3{,}40 \cdot 10^5$	1

Звідси величина збитку, нанесеного рибним запасам в натуральному численні, склала:

N_c = 0,167 т + 0,031 т + 0,465 т + 0,233 т = 0,896 т.

3. Розрахунок збитку в вартісному виразі. Згідно п. 4 (Тимчасова методика оцінки збитку, що наноситься рибним запасам в результаті будівництва, реконструкції і розширення підприємств, споруд і інших об'єктів і проведення різних видів робіт на рибогосподарських водоймищах» (рос.). - М.: 1989), вартісна величина збитку може визначатися за допомогою розрахунку капітальних вкладень на здійснення заходів, які компенсують збиток рибним запасам. Згідно розрахунків інституту «Укррибпроект», питомі капітальні вкладення на відтворення 1 т риби-сирцю промповертання на рибоводних об'єктах – аналогах по відтворенню морських видів риб на осінь 2009 р. складають 168,71 тис. грн. Питомі капіталовкладення приведені без урахування ПДВ. Приймаючи, що час негативної дії на рибні запаси при днопоглибленні 1 сезон, величина нормативного коефіцієнту економічної ефективності капвкладень (*En*) складає 0,18.

Виходячи з цього, визначаємо об'єми необхідних капітальних вкладень.

У вартісному виразі величина компенсаційних платежів складає:

K_p = 168,71 тис. грн./т · 0,985 т · 0,18 · 1 = 29912 грн.;

K_c = 168,71 тис. грн./т · 0,896 т · 0,18 х 1 = 27210 грн.

Сумарний збиток, нанесений рибному господарству роботами, складає 29912 грн. + 27210 грн. = 57122 грн.

4. Розрахунок збитку, нанесеного водному середовищу розробкою ґрунтів на баровій ділянці всмоктуючими землесосами. За даними дослідження піщано-мулисті ґрунти, що розробляються, по своїм фізико-

механічним і хімічним властивостям досить однорідні: вміст фракції, що утворює мутність, складає від слідів до 31,65 % при щільності 1,23 - 1,60 т/м^3 (в залежності від ділянки робіт); за хімічним складом ґрунти в основному відносяться до А - II класу (табл. 3.1).

Аналіз результатів натурних спостережень, виконаних на акваторіях днопоглиблення і складування ґрунтів, показав, що по своїм фізико-механічним характеристикам ґрунти подаються у відвал близькі до техногенних донних відкладень акваторії відвалу.

Піщано-мулисті ґрунти, що розробляються по району робіт, по своїм фізико-механічним і хімічним властивостям досить однорідні: вміст залежить від фракції, що утворює мутність і, і складає від 0 до 22,09 % при щільності 1,27-1,74 т/м^3 (в залежності від ділянки робіт); по хімічному складу ґрунти в основному відносяться до А - II класу (див. табл. 3.1).

У таблиці 3.4 приведені усереднені значення показників фізичних властивостей ґрунтів, що розробляються.

Таблиця 3.4 - Усереднений гранулометричний склад піщаних ґрунтів днопоглиблення

Ділянки робіт	>1 мм	> 0,5 мм	> 0,25 мм	> 0,10 мм	> 0,05 мм	> 0,01 мм	> 0,005 мм	< 0,005 мм	Щільність, г/см^3
Станція № 1	Сліди	Сліди	10,12	48,10	28,61	8,13	5,04	-	1,74
Станція № 2	2,15	2,41	3,97	5,50	8,10	36,12	18,90	22,85	1,27
Станція № 3	-	-	38,15	45,60	9,15	5,13	1,97	-	1,70
Серед.	0,72	0,80	17,40	33,10	15,28	16,45	8,63	7,62	1,57

При проведенні розрахунків компенсаційних платежів використані наступні усереднені величини, що характеризують фізико-механічні характеристики ґрунтів днопоглиблення: середній вміст фракції, яка спричиняє мутність (менше 0,005 мм) - 7,62 %; щільність ґрунту - 1,57 т /м^3.

Згідно результатів аналітичних робіт ґрунти, розроблені за змістом забруднювальних речовин, за інтегральними показниками, відповідають класам А-II (див. табл. 3.1).

З приведених даних виходить, що ґрунти, що розробляються, по ступені забрудненості можуть скидатися в підводні відвали з оплатою відповідних компенсаційних платежів за забруднення водного середовища.

Всмоктуючими землесосами розроблялися ґрунти на баровій частині в об'ємі 256998,9м^3. Ґрунти представлені в основному замуленими пісками та

мулами та характеризуються наступними усередненими фізико-механічними показниками: зміст фракції менше 0,005 мм - 7,62%, щільність ґрунту - 1,57 т/м^3. При розробці ґрунтів землесосом близько 3% тонко дисперсної фракції у вигляді суспензії переходить у водне середовище.

Маса зважених речовин, що потрапили у водне середовище при розробці 25699892м^3 ґрунту, складає:

$M_{зв}$ = 256998,9м^3 · 1,57 т/ м^3 · 0,03 х 0,0762 = 922,4 т.

Величина збитку водному середовищу від попадання зважених речовин при розробці ґрунту у вартісному виразі складає:

$П_{зв}$ = 922,4 т · 3,56 грн./т · 2,0 · 1,116 = 7329 грн.

5. Розрахунок збитку, нанесеного водному середовищу складуванням ґрунтів на морському підводному відвалі. Складування ґрунту на морський підводний відвал, методом вільного скидання, виконано в об'ємі 256998,9 м^3. Складований ґрунт, в основному, представлений замуленими пісками, що характеризуються наступними усередненими фізико-механічними показниками: зміст фракції менше 0,005мм - 7,62 %, об'ємна вага ґрунту - 1,57 т/м^3. При складуванні ґрунтів за запропонованою технологією, в холодний період року, близько 10 % переходить у водне середовище. При транспортуванні ґрунту в підводний відвал 0,1 % об'єму, що транспортується, переходить у водне середовище за рахунок технологічних втрат.

Маса зважених речовин, що потрапили у водне середовище при складуванні і транспортуванні на відстань 8,2 км ґрунту, складає:

$М_{зв}$ = 256998,9м^3 · 1,57 т/ м^3 · 0,1001 · 0,0762 = 3077,7 т.

Величина збитку водному середовищу від попадання зважених речовин при складуванні ґрунту у вартісному виразі складає:

$П_{взв}$ = 3077,7 т · 3,56 грн./т · 2,0 · 1,116 = 24455 грн.

Сумарний збиток, нанесеного водному середовищу, складає:

7329 грн. + 24455 грн. = 31784 грн.

Таким чином, загальний збиток дорівнює сумі втрат, що наносяться водним біоресурсам і водному середовищу складає: 57122 грн. + 31784 грн. = 88906 грн.

Завдання для самостійної роботи

1. Згідно варіанту вибрати об’єкт проведення днопоглиблювальних робіт (табл. 3.5) і значення багаторічних середніх концентрацій ЗР в ґрунтах, мг/кг.

2. Визначити очікуваний клас донного відкладення на об’єкті, що планується у вигляді табл. 3.6.

Таблиця 3.5 – Ступінь забрудненості донних відкладень на об’єктах днопоглиблення

Основні об’єкти дно-заглиблення		Середні багаторічні концентрації забруднюючих речовин у грунтах, мг/кг									
		Cd	*Hg*	*Pb*	*Zn*	*Cu*	*As*	*P*	*F*	НП	Фено-ли
Юж-ний	Гли-на	0,9	0,08	13,5	52,6	22,5	0	220,6	31,62	134,5	0,76
	Мул	1,8	0,15	25,5	72,1	56,3	0	654,4	124,3	252,1	1,89
Б.Дні-стров-ськ	Пісок	0,8	0,03	19,7	15,9	13,6	0,2	440,2	91,25	155,9	0,12
	Мул	1,7	0,08	40,3	74,3	46,4	3,9	558,1	134,9	333,2	1,37
Одеса		3,7	0,11	121	97,1	62,5	4,7	390,6	133,2	478,1	2,20
Іллічівськ		1,6	0,16	53,8	88,2	45,7	0	630,0	144,0	338,3	0,81
Миколаїв		2,7	0,09	94,6	127	41,4	7,5	633,6	87,83	291,5	2,03
Херсон		1,4	0,08	24,1	54,1	33,2	4,4	482,0	144,0	343,6	0,90
Маріуполь		1,4	0,20	40,6	77,7	20,9	5,3	496,5	44,57	410,4	1,82
Усть-Дунайск		1,7	0,38	43,1	120	72,6	6,4	587,0	56,65	227,1	0,93
Канал «Прорва»		1,5	0,35	47	86,1	60,2	5,2	377,0	58,73	153,7	0,58
Одеський СРЗ		3,7	0,33	45,6	105	213	7,4	530,0	13,42	287,5	0,68
Іллічівський СРЗ		1,1	0,14	135	35,2	192	6,3	627,3	154,0	370,2	0,76

3. Дати рекомендації відносно вибору програми спостережень і аналізів ґрунтів днопоглиблення і попередню оцінку можливості проведення дампінга на одному з морських звалищ Азово-Чорноморського басейну.

4. Розрахувати збитки, нанесені водному середовищу при проведенні днопоглиблювальних робіт і дампінгу грунтів. Об'єм ґрунту складає 100 тис. $м^3$.

Таблиця 3.6 – Визначення класу забруднення ґрунту

Інгреді-єнти	$C_{i,}$	C_A	Відношення C_i/C_A	Гранична концентрація даного класу за класифікацією	Гранична концентрація суміжного класу за класифікацією	Напівсуми концентрацій суміжних класів	Відмінність напівсуми концентрацій суміжних класів з середньої концентрацією у пробах
Кадмій	1,24	1	1,24	2	3	2,5	1,26
Ртуть	0,12	0,1	1,20	0,2	0,3	0,25	0,13
Свинець	35,2	10	3,52	20	100	60	24,8
Цинк	85,5	60	1,42	80	150	115	29,5
Мідь	33,2	30	1,11	50	100	75	41,8
Миш'як	4,18	5	0,84	6	8	7	2,82
Фосфор	600	670	0,89	800	1000	900	300
Фтор	250	200	1,25	400	500	450	200
Ціаніди	Не знайдені						
Нафтопродукти	195	100	1,95	200	300	225	30
Феноли	0,6	1	0,60	1,5	2	1,75	1,15
	Інтегральний показник		14,2				
	Клас		1				

Примітка. C_i - середня концентрація ЗР, мк/кг сухого ґрунту; C_A - максимальна концентрація еталонного класу (А) C_A, мг/кг сухого ґрунту.

4 ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ВПЛИВОМ НАКОПИЧУВАЧІВ РІДКИХ ВІДХОДІВ

Серед техногенних джерел забруднення особливу небезпеку становлять поверхневі земляні ємності, призначені для зберігання рідких і твердих відходів. Пристосовані вони до природних і штучних заглиблень рельєфу й обваловані (обнесені) дамбами. Приймачі таких відходів входять до системи промислової каналізації підприємств хімічної, металургійної, гірничодобувної, нафтохімічної, целюлозно-паперової, фармацевтичної та інших галузей промисловості, які називаються «*промисловими басейнами*» (*А.И. Арцев*, 1979).

Наприклад, хвостосховища служать накопичувачами рідких і твердих відходів (хвостів) гірничо-збагачувальних, а у шламосховищах - відходи (рідкі й тверді) металургійних, машинобудівних та інших підприємств. Усі приймачі призначені для зберігання, освітлення, випаровування, накопичення й доочистки стічних вод перед їх скидом у ріки або використанням у обіговому водопостачанні, а також для складування (або утилізації). Як приймачі рідких відходів часто розглядаються поля фільтрації і поля зрошування стічними водами.

Процес забруднення ґрунтових вод (ҐВ) відбувається у 3 стадії (*В.М. Гольдберг*, 1987):

1. Прохідна фільтрація зі сховища рідких відходів (приймача відходів). Стічні води інфільтруються крізь зону аерації, в результаті чого на поверхні ҐВ починає виростати «горб» забруднених вод. Вільна фільтрація триває доти, поки потік із сховища відходів не зімкнеться з горизонтом ҐВ. Тривалість прохідної фільтрації звичайно не більше 1-2 років. Разом із зростанням «горба» забруднених вод відбувається їх розтікання по горизонту ҐВ.

2. Змішування метаморфізованих (змінених) вод з ҐВ.

3. Рух забруднених вод та розповсюдження ЗР по горизонту ҐВ. У цей час і відбувається формування ділянки забруднення водоносного горизонту.

Витрати стічних вод на фільтрацію з приймачів відходів змінюються у широких межах. На фільтрацію із «промислових басейнів» (шламонакопичувачі, ставки - відстійники та ін.) - до *n* 10% від скиду у них. Наприклад, на одному із значних шламосховищ на шостий рік його експлуатації втрати крізь дно становлять 20% загальної витрати на фільтрацію через штучний екран з глин та суглинків ($k_ф$ < 0,005 м/д, Q = 20 тис. м^3 /д).ПВ поблизу полів фільтрації містять: NH_4^+ до 30 ГДК, Cl^- до 6ГДК, SO_4^{2-} до 30ГДК і т.д.

Звичайно змикання рівня ҐВ з потоком забруднених вод із приймачів відходів відбувається менше як за 1-2 роки що менше терміну експлуатації, який обчислюється 15-20 роками й більше. Тому слід враховувати підпір ҐВ.

Оскільки сховища стічних вод функціонують довгочасно, то режим їх може бути стаціонарним.

Для захисту поверхневих та підземних вод від забруднення токсичними сполуками у залежності від фізико-хімічних властивостей промислових відходів, гідрогеологічних особливостей будують різні типи інженерних споруд. Під час будівництва накопичувачів застосовується комплекс протифільтраційних пристроїв, які, проте, не завжди забезпечують належну ізоляцію ҐВ.

У зв'язку з цим виникає необхідність регламентації вмісту ЗР, особливо токсичних сполук, у рідких промислових відходах накопичувачів, тому що від вмісту ЗР у водах, які скидаються, залежить їх вміст в ҐВ.

Максимально завдана концентрація токсичних ЗР у ПВ під накопичувачем, виходячи із якої знаходиться гранична концентрація токсичних забруднювальних речовин (ЗР) у відходах в накопичувачі, визначається з урахуванням змішування стічних вод, що фільтруються, з підземними водами під накопичувачем і розповсюдження суміші ЗР природним потоком ПВ.

Приймається така спрощена схема. Накопичувач схематизується у вигляді квадрату, одна з сторін якого орієнтована за напрямком потоку ПВ. Довжина шляху, який проходять ПВ по водоносному горизонту (ВГ) за 1 рік, значно менша за довжину боку накопичувача, що має місце у більшості випадків, тому що швидкість фільтрації ПВ звичайно мала, тоді як розміри накопичувачів можуть бути значними. Так, ПВ можуть фільтруватися зі швидкістю 30-150 м/рік, тоді як бік накопичувача може бути довжиною від $n \cdot 100$м до 3000м.

Стічні води, що фільтруються із накопичувача, забруднюють насамперед верхню частину ВГ, потім забруднення розповсюджується вглибину. У малопотужних шарах забруднюється увесь ВГ, а у горизонтах значної потужності - верхня і середня частини. Тому приймається, що змішування стічних вод, які фільтруються із накопичувача у ПВ, відбувається по всій потужності пласта, якщо він не перевищує 20 м, на 80% - при потужності 20-40 м і на 70% - при потужності більш 40 м.

При розрахунку концентрацій ЗР у ҐВ не враховуються відмінності у щільності та в'язкості стічних вод і ҐВ, фізико-хімічні процеси взаємодії між водами й породами, тобто це є схема для консервативних ЗР.

Відстань у м (x_o), яку проходять забруднені води упродовж кожного року (365 діб) вниз по потоку ҐВ, можна визначати за формулою:

$$x_o = k_ф \, i_e \, 365 / n, \qquad (4.1)$$

де i_e – гідравлічний уклін природного потоку ҐВ; $k_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід; n - пористість.

Якщо відома відстань від боку полігону до ріки (або будь - якої іншої дрени) - L, у який розвантажуються ҐВ, то можна оцінити, через скільки років

забруднення досягне річки:

$$t = L / x_{o,} \qquad (4.2)$$

Відстань розповсюдження ЗР вверх по потоку дорівнює 100м, а у бічні сторони - 200м, тобто межа розповсюдження ЗР обмежується збоку й зверху по потоку і не обмежується вниз по потоку ҐВ.

Граничний вміст токсичної речовини в промислових рідких відходах у накопичувачі визначається формулою:

$$C_г = \frac{\{C_{\max}(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0.2W) - K_m \cdot L \cdot m \cdot [X_0 \cdot C_0 + (L \cdot n - X_0)(C_{\max} - C_0)(1 - \frac{1}{T})]\}}{0.2W}, \qquad (4.3)$$

де $C_г$ – граничний вміст токсичної ЗР в промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/дм^3; C_{max} – максимально завдана концентрація токсичної ЗР у ҐВ під накопичувачем (10 ГДК), мг/дм^3; C_o – вміст токсичної ЗР у ҐВ в природних умовах (фоновий), мг/дм^3; m - потужність водоносного горизонту, м; K_m - безрозмірний коефіцієнт, який відображає процес змішування стічних та підземних вод в залежності від потужності водоносного горизонту (K_m=1 при m < 20м, K_m= 0,8 при m = 20 - 40м, K_m= 0,7 при m > 40м); L - довжина боку накопичувача, м; n - пористість водоносних порід, безрозмірна величина; W - річний об'єм стічних вод, які скидаються до накопичувача, м^3; $0,2W$ - річний об'єм стічних вод, що фільтруються з накопичувача, м^3; $X_o = 365 \cdot K_ф \cdot i$, де $к_ф$ - коефіцієнт фільтрації водоносних порід, м/доб, i – гідравлічний уклон, безрозмірна величина; $T = t_e + 5$ - розрахунковий час (кількість років), на кінець якого концентрація токсичної ЗР у ҐВ не повинна перевищувати значення C_{max}; t_e - час експлуатації накопичувача (звичайно 15-20 років, 5 - середня кількість років інфільтрації стічних вод після припинення скиду рідких промислових відходів у накопичувач).

Якщо ЗР стороння для природного гідрогеохімічного фону (C_o= 0, або вміст її у природних умовах дуже малий), то формула (4.3) має вигляд:

$$C_г = \frac{\{C_{\max}[(K_m \cdot m \cdot L^2 \cdot n + 0.2W) - K_m \cdot L \cdot m(L \cdot n - X_0) \cdot (1 - 1/T)]\}}{0.2W} \qquad (4.4)$$

Необхідна інформація запозичується з проекту будівництва накопичувача (W, L, t_e), зі звітів гідрогеологічних досліджень (m, n, $K_ф$, i, C_o). Значення C_{max} за величиною ГДК завдається в межах *1 - 10 ГДК*, звичайно *10 ГДК*.

Основними цілями оцінки граничного вмісту токсичних ЗР є: дозвіл прийняття превентивних заходів щодо охорони ПВ, враховуючи умови розташування промислових об'єктів; вдосконалення способів вилучення ЗР, відхилення екологічно небезпечних проектів.

Для визначення абсолютно допустимої маси токсичної ЗР у накопичувачі проводиться розрахунок за формулою:

$$G = C_г \cdot W /1000, \qquad (4.5)$$

де G - маса токсичної ЗР у накопичувачі, кг; $C_г$ – граничний вміст токсичної ЗР в промислових рідких відходах у накопичувачі, мг/дм^3; W - об'єм накопичувача, м^3.

Приклад оцінки забруднення підземних вод під впливом накопичувачів рідких відходів.

Розрахувати граничний вміст ($C_г$, мг/дм^3) та масу (G, кг) токсичної речовини (Pb) в промислових рідких відходах у накопичувачі при таких вихідних даних:

- ГДК свинцю дорівнює 0,03 мг/дм^3 (СанПиН № 4330-88);
- максимально завдана концентрація токсичної речовини у ҐВ під накопичувачем (C_{max}) = 0,3 мг/дм^3;
- довжина боку накопичувача (L) = 2000м;
- об'єм стічних вод, які скидаються до накопичувача (W) = 900000 м^3/рік;
- час експлуатації накопичувача (t_e) = 20 років;
- потужність водоносного горизонту (m) = 20м;
- безрозмірний коефіцієнт, який відображає процес змішування стічних та підземних вод в залежності від потужності водоносного горизонту (K_m) = 1;
- пористість водоносних порід у частках одиниці (n) = 0,1;
- коефіцієнт фільтрації водоносних порід ($\kappa_ф$) = 10 м/доб;
- гідравлічний уклон (i) = 0,003;
- фонова концентрація свинцю у ҐВ (C_o) = 0,001 мг/дм^3.

Величина $C_г$ визначається за формулою 4.3:

$C_г$ = {0,3(1·20·2000^2 ·0,1+0,2·900000) - 1·2000·20[1,1· 0,001+ (2000·0,1-0,001)·(0,3-0,001)·(1- 1/25) / 0,2·900000 = 1,5 мг/дм^3.

У цьому випадку гранична концентрація свинцю, скинутого з рідкими промисловими відходами у накопичувач не повинна перевищувати 1,5 мг/дм^3; концентрація свинцю в ґрунтових водах не більше 10ГДК (0,3 мг/дм^3) при фоновій концентрації 0,001 мг/дм^3.

Маса токсичної речовини (Pb) у накопичувачі промислових рідких відходах визначається за формулою 4.5:

G = 1,5· 900000 /1000 = 1414кг.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати граничний вміст ($C_г$, мг/дм^3) та масу (G, кг) токсичної речовини (Pb) в промислових рідких відходах у накопичувачі при вихідних даних, наведених у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для самостійної роботи

№ варі-анту	L, м	W, м^3	t_e, років	m, м	K_m	n	$к_ф$, м/доб	i	Вміст токсичної речовини, мг/дм^3
1	2000	$9\cdot10^5$	20	20	1,0	0,1	10	0,003	0,001
2	300	$7\cdot10^5$	15	10	1,0	0,2	15	0,001	0,002
3	500	$1\cdot10^6$	25	15	1,0	0,3	18	0,002	0,001
4	650	$15\cdot10^5$	30	25	0,8	0,1	10	0,004	0,015
5	430	$6\cdot10^4$	21	30	0,8	0,1	10	0,003	0,002
6	1000	$3\cdot10^4$	16	17	1,0	0,1	10	0,009	0,016
7	2100	$1,6\cdot10^5$	21	19	1,0	0,3	18	0,001	0,018
8	2000	$1,8\cdot10^5$	28	20	1,0	0,2	15	0,002	0,001
9	400	$8\cdot10^5$	16	15	1,0	0,15	15	0,002	0,001
10	600	$7\cdot10^5$	15	16	1,0	0,2	15	0,003	0,001
11	800	$9\cdot10^5$	18	11	1,0	0,22	16	0,001	0,002
12	930	$2\cdot10^7$	27	19	1,0	0,31	18	0,001	0,005
13	750	$3,5\cdot10^5$	17	10	1,0	0,15	15	0,008	0,001
14	680	$4,8\cdot10^6$	19	25	0,8	0,17	18	0,003	0,001
15	550	$5\cdot10^5$	25	20	1,0	0,1	10	0,001	0,001
16	400	$5,7\cdot10^5$	20	31	0,8	0,11	10	0,003	0,002
17	1000	$6,4\cdot10^6$	21	20	1,0	0,14	12	0,003	0,0016
18	1500	$5\cdot10^5$	19	25	1,0	0,16	16	0,003	0,0018
19	900	$9\cdot10^5$	24	30	1,0	0,2	15	0,001	0,0019
20	600	$7\cdot10^5$	20	40	1,0	0,3	18	0,002	0,0014
21	690	$4\cdot10^5$	15	15	1,0	0,12	12	0,003	0,001
22	390	$5,6\cdot10^5$	20	10	1,0	0,16	19	0,001	0,002
23	550	$7,7\cdot10^5$	25	20	1,0	0,12	18	0,002	0,001
24	1250	$1,5\cdot10^5$	30	30	0,8	0,1	10	0,004	0,015
25	940	$2,9\cdot10^5$	19	17	0,8	0,19	15	0,003	0,002

5 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕНИХ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА СКЛАД ҐРУНТОВИХ ВОД

Забруднення ґрунтових вод (ҐВ) в умовах техногенного впливу на оточуюче природне середовище тісно пов'язане з забрудненням атмосфери, поверхневих вод та ґрунтів. У результаті забруднення атмосфери на земну поверхню випадають забруднені опади та пил.

Наближена кількісна оцінка впливу на якість ҐВ, забруднених атмосферними опадами, може бути виконана при таких припущеннях: 1) забруднювальні речовини (ЗР) не взаємодіють з ґрунтами і не змінюються у процесі випадання та інфільтрації. Фактично, склад атмосферних опадів змінюється в межах атмосфери, після проходження крізь рослинний покрив і ґрунти, але для наближеної оцінки і з врахуванням нейтральності ЗР типу хлоридів, нітратів, фенолів та ін. по відношенню до ґрунтів таке припущення можливе; 2) випадання атмосферних опадів з ЗР відбувається в один або два періоди протягом року. Аналіз матеріалів по різних регіонах дозволяє стверджувати, що це не має істотного значення для накопичення ЗР в ҐВ; 3) вся кількість атмосферних опадів з ЗР, що випали, досягає дзеркала (рівня) ҐВ. Це припущення практично прийнятне для зон з надлишковим зволоженням і неглибоким заляганням ҐВ.

Проведення подібних досліджень доцільне на дослідно-виробничих полігонах в межах крупних промислових об'єктів спільними зусиллями фахівців природоохоронних органів. При розрахунку вважається, що забруднені атмосферні опади випадають щороку після початку викиду ЗР у атмосферу: при цьому річна норма опадів і концентрація в них ЗР залишаються постійними. При розрахунку враховуються гідрогеологічні особливості горизонтів ҐВ, в які інфільтруються забруднені атмосферні опади, а також швидкість руху ҐВ в межах водонасичених порід.

За умови, що забруднені атмосферні опади випадають у один період часу на протязі року, відзначається така залежність (*В.М. Гольдберг*, 1987):

$$C_i = (m \cdot C_a + n \cdot C_в) / (m + n), \qquad (5.1)$$

$$C_i = [m \cdot C_a + (n - t \cdot v/L)\, C_{i-1} + (t \cdot v/L) \cdot C_в] / (m + n) \qquad (5.2)$$

За умови, що забруднені атмосферні опади випадають у два періоди часу протягом року, після 1-го періоду випадення опадів у 1-му році залежність має той же вигляд, що і у формулі (5.1) :

$$C'_1 = (m' \cdot C_a + n \cdot C_в) / (m' + n) \qquad (5.3)$$

Після 2-го періоду випадення забруднених опадів у 1-му році кількість ЗР у ҐВ (C_1'') визначається за формулою:

$$C_1'' = [m'' \cdot C_a + (n - t' \cdot v/L) \cdot C'_1 + (t' \cdot v/L) \cdot C_в] / (m'' + n) , \qquad (5.4)$$

Після 1-го періоду випадання забруднених опадів у 2-му році кількість ЗР у ҐВ (C'_2) визначається за формулою:

$$C'_2 = [m' \cdot C_a + (n - t'' v/L)\, C_1'' + (t'' \cdot v/L) \cdot C_в] / (m' + n), \qquad (5.5)$$

Вміст ЗР у ҐВ після 2-го періоду випадання опадів у 2-му році (C_2'') визначається за формулою (5.4), але замість значення C'_1 підставляється значення C'_2. Аналогічно послідовно визначаються концентрації у наступні роки (C'_3, C_3'', C'_4, C_4'' і т.д. до необхідного року).

У вищенаведених формулах:

C_1- концентрація ЗР в ҐВ у перший рік після випадення забруднених атмосферних опадів (якщо опади випадають один період часу протягом року), мг/дм^3; C_i - концентрація ЗР в ҐВ у і - рік випадення забруднених атмосферних опадів (за умови, що опади випадають один період у рік), мг/дм^3; C_{i-1} - концентрація ЗР в ҐВ у попередній рік (i-1), мг/дм^3; C'_1, C'_2, C'_3 ... – концентрації ЗР в ҐВ після 1-го періоду випадення забруднених опадів (якщо опади випадають два періоди часу протягом року), мг/дм^3; C_1'', C_2'', C_3''... – концентрації ЗР в ҐВ після 2-го періоду випадення забруднених опадів (якщо опади випадають два періоди часу протягом року), мг/дм^3; C_a- концентрація ЗР в атмосферних (дощових) опадах, мг/дм^3; $C_в$ - концентрація ЗР у ҐВ, мг/дм^3; n - пористість водоносних ґрунтів (порід), у частках одиниці; v - швидкість фільтрації ГВ, м/д; L - довжина ділянки за напрямком природного руху ҐВ, в межах якого відбувається випадення забруднених атмосферних опадів, м; $m = r/M$ - відносна потужність шару атмосферних опадів, які інфільтруються до рівня ҐВ, r - шари атмосферних опадів, що просочилися до рівня ҐВ ($r = 0{,}001\ h\ K_{ін}$), де h - річна норма атмосферних опадів у мм, а $K_{ін}$ - коефіцієнт інфільтрації атмосферних опадів (< 1), M - середня потужність горизонту ҐВ, м; m' - відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у перший період їх випадання; m'' - відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у другий період їх випадання; t - період від кінця попереднього випадання опадів до початку наступного їх випадання (опади з ЗР випадають один раз на рік), д; t' - час від кінця першого періоду випадання опадів в році до початку другого періоду випадання опадів цього ж року (опади випадають два періоди часу), доб.; t'' - час від кінця другого періоду випадання опадів в році до початку першого періоду випадення опадів наступного року (опади випадають у два періоди часу), доб.

Приклади оцінки впливу забруднених атмосферних опадів на склад ґрунтових вод.

<u>Варіант 1</u>. Забруднені атмосферні опади (дощі) випадають *один період на рік*.

Вихідні дані для розрахунку: 1) довжина ділянки за напрямком природного руху ҐВ, в межах якого відбувається випадення забруднених атмосферних опадів (L) = 10000м; 2) швидкість фільтрації ҐВ (v) = 0,01 м/д; 3) середня потужність горизонту ҐВ (M) = 10м; 4) пористість водоносних порід у частках одиниці (n) = 0,1; 5) концентрація ЗР в атмосферних опадах (C_a) = 0,5 мг/дм^3; 6) концентрація ЗР у ҐВ ($C_в$) концентрація ЗР у ГВ = 0 мг/дм^3; 7) відносна потужність шару атмосферних опадів, які інфільтруються до рівня ҐВ (m) = 0,2; 0,02; 0,002; 8) період від кінця попереднього випадання опадів до початку наступного їх випадання (t) = 330 діб.

Необхідно розрахувати концентрацію ЗР у ҐВ протягом 7 років після випадення забруднених атмосферних опадів.

За формулою 5.1 визначається концентрація ЗР у ҐВ у перший рік після випадення опадів (C_1). Одержане значення C_1 підставляється до формули 5.2 замість C_{i-1} й знаходиться концентрація ЗР у ҐВ у другий рік після випадення забруднених атмосферних опадів (C_2); потім за значенням C_2 знаходиться концентрація ЗР у ҐВ на третій рік після випадіння забруднених атмосферних опадів (C_3) і т.д. до сьомого року.

Результати розрахунків подаються за формою, яка наведена у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку змінення концентрації ЗР у ҐВ під впливом забруднених атмосферних опадів

Порядковий номер року (концентрація ЗР у ГВ)	При m = 0,2 C_i, мг/дм^3	При m = 0,02 C_i, мг/дм^3	При m = 0,002 C_i, мг/дм^3
1 (C_1)	0,330	0,083	0,009
2 (C_2)	0,440	0,152	0,019
3 (C_3)	0,480	0,210	0,028
4 (C_4)	0,493	0,258	0,038
5 (C_5)	0,497	0,297	0,047
6 (C_6)	0,498	0,330	0,055
7 (C_7)	0,498	0,358	0,064

<u>Варіант 2</u>. Забруднені атмосферні опади (дощі) випадають *два періоди на рік* (початок першого періоду випадення опадів 1 квітня, їх тривалість 10 д; початок другого періоду випадення опадів 1 жовтня, їх тривалість 20 д).

Вихідні дані для розрахунку: 1) середня потужність горизонту ҐВ (M) = 10м; 2) пористість водоносних порід у частках одиниці (n) = 0,1;
3) концентрація ЗР в атмосферних опадах (C_a) = 0,5 мг/дм^3; 4) концентрація ЗР у ҐВ ($C_в$) концентрація ЗР у ҐВ = 0 мг/дм^3; 5) час від кінця першого періоду випадання опадів в році до початку другого періоду

випадання опадів цього ж року (t') = 173 доби; 6) час від кінця другого періоду випадання опадів в році до початку першого періоду випадення опадів наступного року (t'') = 162 д; 7) відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у перший період їх випадання (m') = 0,07; 8) відносна потужність шару забруднених атмосферних опадів, що просочилися, у другий період їх випадання (m'') = 0,13; 10) m ($m' + m''$) = 0,2.

Необхідно розрахувати концентрацію ЗР у ҐВ протягом 7 років після випадення забруднених атмосферних опадів.

За формулою 5.3 визначається концентрація ЗР у ҐВ у 1-ий період після випадення опадів (C'_1), потім за формулою 5.4 у 2-му періоді першого року випадення опадів (C_1''); далі за формулою 5.5 у 1-му періоді другого року (C'_2) і т.д. до сьомого року.

Результати розрахунків подаються за формою, яка наведена у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунку змінення концентрації ЗР у ҐВ під впливом забруднених атмосферних опадів

Порядковий номер року	При m' = 0,07 C'_i, мг/дм^3	При m''= 0,13 C'_i, мг/дм^3
1	0,2 (C'_1)	0,37 (C_1'')
2	0,42 (C'_2)	0,46 (C_2'')
3	0,48 (C'_3)	0,49 (C_3'')
4	0,494 (C'_4)	0,497 (C_4'')
5	0,4978 (C'_5)	0,498 (C_5'')
6	0,4987 (C'_6)	0,499 (C_6''
7	0,499 (C'_7)	0,4991 (C_7'')

Результати розрахунків дозволяють зробити деякі висновки щодо впливу забруднених атмосферних опадів на якість ҐВ При великої кількості й значної інфільтрації забруднених атмосферних опадів ($m \geq 0,2$) концентрація ЗР в ҐВ швидко досягає її вмісту у атмосферних опадах. Наприклад, при значенні m = 0,2 вже на сьомий рік після випадення забруднених опадів концентрації ЗР у ҐВ і атмосферних опадах практично однакова, тобто ҐВ забруднені ЗР, що інфільтруються з атмосферними опадами за порівняно невеликий відрізок часу. Зі зменшенням частки забруднених опадів, що інфільтруються (m = 0,02), концентрація ЗР в ҐВ через 7 років досягає 0,358 мг/дм^3, а при ще меншій частці забруднених опадів (m = 0,002), концентрація ЗР в ҐВ через 7 років досягає лише 0,064 мг/дм^3.

Накопичення ЗР в ҐВ практично не залежить від того, випадає річна норма за один чи за два періоди з дощами на протязі року. Концентрація ЗР в ҐВ після другого періоду випадення опадів в році власне така ж, як і у випадку випадення річної суми опадів за один період часу.

Якщо привнесення тієї або іншої ЗР в ҐВ обумовлено атмосферними опадами, то концентрація ЗР в ҐВ буде прагнути до концентрації у атмосферних опадах. Тому під впливом забруднених атмосферних опадів при їх постійному випаданні в ҐВ можуть накопичуватися нехарактерні їм ЗР (важкі метали, феноли, пестициди тощо).

Завдання для самостійної роботи

Варіант 1. Забруднені атмосферні опади (дощі) випадають один період на рік. Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 5.3. Необхідно розрахувати концентрацію ЗР в ҐВ протягом 7 років після випадення атмосферних опадів. Результати розрахунків подати у вигляді табл. 5.1.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для самостійної роботи (варіант 1)

№ варі-анту	L, м	v, м/д	M, м	n	C_a, мг/дм^3	$C_{в.}$ мг/дм^3	m	Період без опадів, доб
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1000	0,01	10	0,1	0,5	0	0,2; 0,02; 0,002	330
2	9000	0,02	11	0,2	0,6	0,2	0,3; 0,03; 0,003	345
3	6000	0,05	20	0,3	0,5	0,1	0,1; 0,01; 0,001	351
4	11000	0,01	19	0,6	0,4	0	0,4; 0,04; 0,004	345
5	13000	0,04	18	0,3	0,9	0,2	0,2; 0,02; 0,002	321
6	20000	0,02	17	0,2	0,6	0,1	0,3; 0,03; 0,003	300
7	15000	0,03	16	0,5	0,7	0,2	0,2; 0,02; 0,002	328
8	17000	0,05	15	0,4	0,4	0	0,1; 0,01; 0,001	318
9	10000	0,05	16	0,2	0,3	0	0,3; 0,03; 0,003	328
10	5000	0,04	18	0,1	0,6	0,1	0,2; 0,02; 0,002	324
11	7000	0,03	10	0,1	0,7	0,3	0,1; 0,01; 0,001	340
12	8000	0,03	12	0,2	0,5	0,1	0,3; 0,03; 0,003	320
13	15000	0,01	13	0,4	0,4	0	0,1; 0,01; 0,001	310
14	20000	0,02	11	0,3	0,5	0,2	00,2; 0,02; 0,002	300
15	11000	0,02	17	0,3	0,8	0,4	0,5; 0,05; 0,005	330
16	10000	0,03	20	0,2	0,4	0	0,4; 0,04; 0,004	350
17	17000	0,02	16	0,1	0,6	0,1	0,2; 0,02; 0,002	320
18	21000	0,02	15	0,3	0,5	0,3	0,1; 0,01; 0,001	321
19	6000	0,02	11	0,4	0,4	0,1	0,2; 0,02; 0,002	298
20	7000	0,03	20	0,1	0,7	0,2	0,1; 0,01; 0,001	289
21	9500	0,04	10	0,5	0,5	0	0,1; 0,01; 0,001	330
22	14000	0,02	11	0,3	0,8	0,1	0,4; 0,04; 0,004	345
23	16000	0,03	20	0,2	0,7	0	0,2; 0,02; 0,002	351
24	18000	0,01	19	0,4	0,9	0,1	0,3; 0,03; 0,003	345
25	15000	0,02	17	0,2	0,6	0,1	0,3; 0,03; 0,003	320

Варіант 2. Забруднені атмосферні опади (дощі) випадають два періоди на рік (початок першого періоду випадення опадів 1 квітня, їх тривалість 10 д; початок другого періоду випадення опадів 1 жовтня, їх тривалість 20 діб).

Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 5.4. Необхідно розрахувати концентрацію ЗР в ҐВ протягом 7 років після випадення атмосферних опадів. Результати розрахунків подати у вигляді табл. 5.2.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для самостійної роботи (варіант 2)

№ варі-анту	M, м	n	C_a, мг/дм^3	$C_{в.}$ мг/дм^3	t', доб	t'', доб	m'	m''
1	10	0,1	0,5	0	173	162	0,07	0,13
2	15	0,1	0,4	0	165	171	0,07	0,14
3	11	0,1	0,5	0	170	164	0,08	0,12
4	14	0,2	0,6	0,1	173	166	0,07	0,14
5	17	0,2	0,3	0	179	165	0,08	0,13
6	10	0,3	0,7	0,1	169	168	0,07	0,12
7	14	0,2	0,8	0,2	176	160	0,05	0,15
8	13	0,2	0,6	0	171	165	0,06	0,14
9	11	0,1	0,5	0,1	174	163	0,08	0,13
10	12	0,1	0,7	0,1	172	169	0,08	0,12
11	15	0,4	0,5	0	175	162	0,07	0,13
12	16	0,2	0,5	0	171	165	0,06	0,15
13	14	0,2	0,6	0,1	169	170	0,05	0,015
14	10	0,3	0,4	0	169	165	0,07	0,14
15	10	0,5	0,8	0,2	175	164	0,08	0,011
16	14	0,1	0,7	0,2	172	165	0,06	0,15
17	16	0,1	0,6	0	179	160	0,06	0,14
18	12	0,3	0,5	0	174	159	0,07	0,12
19	11	0,2	0,7	0,1	178	158	0,07	0,13
20	10	0,1	0,8	0,2	185	174	0,08	0,15
21	16	0,2	0,3	0	179	165	0,08	0,13
22	12	0,3	0,7	0,1	169	168	0,07	0,12
23	15	0,2	0,8	0,2	176	160	0,05	0,15
24	14	0,2	0,6	0	171	165	0,06	0,14
25	12	0,1	0,5	0,1	174	163	0,08	0,13

6 ЯКІСНА ОЦІНКА СТУПЕНЯ ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ ҐРУНТОВИХ ВОД

Поняття «*захищеність підземних вод*» означає їхню ізольованість як за рахунок природних, так і штучних факторів від впливу потоків шкідливих речовин з техногенних джерел. Використання для визначення категорії захищеності ПВ тільки неповного комплексу природних факторів значною мірою звужує можливості одержання достовірних оцінок, оскільки за рамками розгляду залишаються особливості хімічної природи ЗР, режим надходження їх в геологічне середовище (ГС) і навантаження, ступінь техногенної зміни захисних шарів і ін. При такому підході складання карт природної захищеності ПВ можна було б розглядати як перший крок до формування оцінки захищеності, етапу попередньої оцінки. Однак, навіть попередня оцінка вимагає більш повного урахування природних факторів, що визначають захищеність. До їхнього числа відносяться тектонічні порушення, зони підвищеної проникненості порід як відображення неотектонічних процесів й ін.

Під захищеністю ПВ від антропогенного впливу розуміється перекритість водоносного горизонту (ВГ) водотривкими породами, що перешкоджають проникненню ЗР із джерел техногенного забруднення (на поверхні землі, у накопичувачах відходів, у надрах землі).

Інтенсивність надходження ЗР у ВГ залежить від ступеня його захищеності. Більш захищені ПВ, що залягають глибоко і ізольовані водотривкими породами.

Ґрунтові води, що залягають першими від поверхні, пов’язані з водно-льодовиковими, моренними і кінцевоморенними відкладами зледеніння, сучасними алювіально-озерно-болотними та іншими утвореннями.

Водомісткі породи – це переважно піски різної крупності, іноді з прошарками супісей, суглинків, глин і торфів. Параметри захищеності ҐВ залежать від морфології рельєфу, літологічного складу покривних відкладів, положення рівня ҐВ, типу ґрунтів та інших факторів, що пов’язані з кліматом та історією геологічного розвитку і т.п. Основними факторами, що визначають природну захищеність ҐВ є літологічні особливості, будова і потужність зони аерації, сорбційні і фільтраційні властивості перекриваючих порід і ґрунтів, інфільтраційне живлення, процеси міграції ЗР (*О.М. Адаменко*, Г.І. Рудько, 1997).

При різних видах антропогенної діяльності відбувається забруднення вод зони аерації (води родючого ґрунту й верховодка) та ҐВ. У зв'язку з цим при проектуванні різних інженерних споруд виникає необхідність прогнозування їх можливого впливу на природний стан ҐВ, що багато у чому визначається ступенем їх ізольованості від денної поверхні.

Якісна оцінка захищеності ґрунтових вод визначається за такими показниками: 1) глибина залягання ҐВ або потужність зони аерації; 2) будова й літологічні особливості порід зони аерації; 3) потужності слабкопроникних порід у розрізі зони аерації; 4) фільтраційні властивості порід зони аерації і, перш за все, водотривких різностей (*В.М. Гольдберг*, 1987).

Найменш захищеними є ҐВ в умовах, коли зона аерації представлена добре проникними відкладеннями і у їх розрізі відсутні слабкопроникні літологічні різності. Збільшення глибини залягання ҐВ хоча й покращує їх захищеність, але вплив цього фактору менш істотний, ніж наявність водотривких порід у розрізі зони аерації.

Якісна оцінка природної захищеності ҐВ може бути виконана на основі визначення категорій їх захищеності (I, П, Ш, IV, V, VI) у балах. Більш високим категоріям відповідає більша сума балів - сумарний показник захищеності ҐВ.

За вихідну одиницю для оцінки балів прийнятий часу фільтрації t_1 крізь зону аерації, складену з добре проникних порід ($к_ф$ =2 м/д) потужністю 10м. Час фільтрації t_2 крізь зону аерації потужністю 20 м, яка складається з таких же порід, приблизно вдвоє більший ($t_2 = 2t_1$); крізь зону аерації потужністю 30м - утроє більший ($t_3 = 3t_1$), тощо.

Звичайно зона аерації (глибина залягання ҐВ) коливається від 3 до 30 м, рідко перевищуючи 40-50м. Тому виділяються 5 градацій глибин залягання: до 10, 10-20, 20-30, 30-40,більш як 40м. Першій градації з мінімальною (до 10м) глибиною залягання рівня ҐВ, час фільтрації для якої дорівнює t_1, відповідає 1 бал; другій - 2 бали, третій -3 бали, четвертій - 4 бали, п'ятій (більш як 40м) - 5 балів (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 - Градації глибин залягання ґрунтових вод та кількість балів, яка їм відповідає

Номер градації	1	2	3	4	5
Глибина, м	< 10	10-20	20-30	30-40	> 40

Потужність водотривких порід зони аерації поділяється на 11 градацій (до 2, 2 - 4, 4 - 6 ... понад 20 м), а серед них за літологічними та фільтраційними особливостями виділяються 3 групи: ***а*** - супіски, легкі суглинки з $к_ф$ = 0,1- 0,01 м/доб.; ***с*** - важкі суглинки й глини з $к_ф$ менш 0,001 м/д; ***в*** - проміжна між ***а*** та ***с*** - суміш порід зі значеннями $к_ф$ = 0,01 - 0,001 м/доб. (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Градації потужностей слабопроникних порід зони аерації та кількість балів, яка їм відповідає

Номер градації	Потужність відкладів, м	Група відкладів		
		а	***в***	***с***
1	< 2	1	1	2
2	2 – 4	2	3	4
3	4 – 6	3	4	6
4	6 – 8	4	6	8
5	8 – 10	5	7	10
6	10 – 12	6	9	12
7	12 – 14	7	10	14
8	14 – 16	8	12	16
9	16 – 18	9	13	18
10	18 – 20	10	15	20
11	> 20	12	18	25

Примітка: ***а*** *– супіски, легкі суглинки;* ***с*** *– важкі суглинки, глини;* ***в*** *– суміш порід груп* ***а*** *та* ***с.***

Сума балів, що залежить від градації глибин залягання ґрунтових вод, потужності слабопроникних порід та їх літології, визначає захищеність ГВ, яку виражено *показником захищеності* (ПЗ). За значенням ПЗ виділяється 6 категорій захищеності ґрунтових вод (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 - Категорії захищеності ґрунтових вод (за показником захищеності ґрунтових вод)

атегорії захищеності	I	II	III	IV	V	VI
Показник захищеності (ПЗ)	< 5	5 – 10	10 - 15	15 – 20	20 - 25	> 25

Приклад якісної оцінки ступеня захищеності ґрунтових вод.

В межах ділянки зона аерації представлена легкими суглинками (середня потужність 3,5м), а водоносний горизонт (середня потужність 5м) складений крупнозернистими пісками. Мінімальна глибина залягання ҐВ під час випадання мінімальної кількості атмосферних опадів (грудень-лютий) складає 6,5м.

Згідно табл. 6.1 глибина залягання ҐВ відповідає першій градації (< 10м), тобто відповідає 1 балу. За літологічними властивостями зони аерації (група ***а*** – табл. 6.2) ще набирається 4 бали. Отже, сума складає 5 балів, що відповідає ІІ категорії захищеності ґрунтових вод (табл. 6.3).

Завдання для самостійної роботи

Зробити якісну оцінку захищеності ҐВ за варіантом при вихідних даних, наведених у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для якісної оцінки природної захищеності ґрунтових вод

Варіант	Літологічний склад зони аерації	Потужність відкладів, м	$\kappa_ф$, м/д	Пористість, в част.од.
1	2	3	4	5
1	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,009	0,27
	2) супісок	3 - 5	0,1	0,40
	3) суглинок легкий	5 - 9	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	9 - 12	1,1	0,40
	5) суглинок легкий	12 - 14	0,004	0,25
	6) супісок	14 - 15	0,15	0,42
	7) пісок середньозернистий	15 - 17	2,5	0,45
2	1) пісок мілкозернистий	0 - 2	1,5	0,45
	2) супісок	2 - 5	0,1	0,40
	3) суглинок легкий	5 - 8	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	8 - 11	1,1	0,40
	5) суглинок легкий	11 - 14	0,004	0,25
	6) супісок	14 - 15	0,15	0,42
	7) пісок середньозернистий	15 - 16	6,5	0,48
3	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,09	0,30
	2) супісок	3 - 6	0,01	0,35
	3) суглинок легкий	6 - 10	0,005	0,20
	4) пісок мілкозернистий	9 - 12	1,0	0,45
	5) суглинок легкий	10 - 12	0,004	0,25
	6) супісок	12 - 14	0,16	0,42
	7) пісок середньозернистий	14 - 15	2,7	0,45
4	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,009	0,25
	2) супісок	3 - 5	0,2	0,30
	3) суглинок легкий	5 - 7	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	7 - 10	1,2	0,45
	5) суглинок легкий	10 - 13	0,004	0,28
5	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,019	0,27
	2) супісок	3 - 4	0,09	0,40
	3) суглинок легкий	4 - 8	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	8 - 10	1,0	0,40
	5) суглинок легкий	10 - 12	0,004	0,25
	6) супісок	12 - 14	0,15	0,42
	7) пісок середньозернистий	14 - 16	2,5	0,45
6	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,008	0,30
	2) супісок	3 - 6	0,1	0,45
	3) суглинок легкий	6 - 8	0,005	0,27
	4) пісок мілкозернистий	8 - 12	1,3	0,40
	5) суглинок легкий	12 - 14	0,004	0,25
	6) супісок	14 - 16	0,17	0,43
	7) пісок середньозернистий	16 - 17	2,0	0,46
7	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,09	0,30
	2) супісок	3 - 6	0,01	0,35
	3) суглинок легкий	6 - 10	0,005	0,20
	4) пісок мілкозернистий	9 - 12	1,0	0,45
	5) суглинок легкий	10 - 12	0,004	0,25
	6) супісок	12 - 14	0,16	0,42
	7) пісок середньозернистий	14 - 15	2,7	0,45

Продовження таблиці 6.4

1	2	3	4	5
8	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,009	0,25
	2) супісок	3 - 5	0,2	0,30
	3) суглинок легкий	5 - 7	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	7 - 10	1,2	0,45
	5) суглинок легкий	10 - 13	0,004	0,28
	6) супісок	13 - 14	0,17	0,45
	7) пісок середньозернистий	14 - 15	4,5	0,48
9	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,019	0,27
	2) супісок	3 - 4	0,09	0,40
	3) суглинок легкий	4 - 8	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	8 - 10	1,0	0,40
10	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,009	0,27
	2) супісок	3 - 5	0,1	0,40
	3) суглинок легкий	5 - 9	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	9 - 12	1,1	0,40
	5) суглинок легкий	12 - 14	0,004	0,25
	6) супісок	14 - 15	0,15	0,42
	7) пісок середньозернистий	15 - 17	2,5	0,45
11	1) пісок мілкозернистий	0 - 2	1,5	0,45
	2) супісок	2 - 5	0,1	0,40
	3) суглинок легкий	5 - 8	0,005	0,25
	4) пісок мілкозернистий	8 - 11	1,1	0,40
	5) суглинок легкий	11 - 14	0,004	0,25
	6) супісок	14 - 15	0,15	0,42
	7) пісок середньозернистий	15 - 16	6,5	0,48
12	1) пісок мілкозернистий	0 - 3	0,008	0,30
	2) супісок	3 - 6	0,1	0,45
	3) суглинок легкий	6 - 8	0,005	0,27
	4) пісок мілкозернистий	8 - 12	1,3	0,40
	5) суглинок легкий	12 - 14	0,004	0,25

7 КІЛЬКІСНА ОЦІНКА СТУПЕНЯ ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ ҐРУНТОВИХ ВОД

В основу ***кількісної оцінки захищеності ґрунтових вод*** від забруднення фільтратом покладене визначення часу (t), за який забруднена вода, що фільтрується з поверхні землі (днища полігону), досягає рівня ҐВ. Наближене визначення величини t може бути виконане за відомою формулою Цункера, яку у спрощеному вигляді (для умов однорідного розрізу) записують у такому виді

$$t = (s \cdot H / \kappa_ф) \cdot [\, m / H - ln\,(1 + m / H)], \qquad (7.1)$$

де H - висота стовпа забруднених (стічних) вод у межах полігону, м; $\kappa_ф$ - коефіцієнт фільтрації порід зони аерації , м/доб; m - потужність порід зони аерації , м; s – нестача насичення порід зони аерації ($s = n - n_e$, де n - пористість, n_e - початкова вологість порід зони аерації; оскільки n_e звичайно не відома, то при розрахунку замість неї можна використати значення n).

Тобто формулу (7.1) можна записати таким чином:

$$t = (n \cdot H / \kappa_ф) \cdot [\, m / H - ln\,(1 + m / H)], \qquad (7.2)$$

Розрахунки за формулами (7.1) та (7.2) показують, що час проникнення стоків до ҐВ істотно залежить від значення $\kappa_ф$, але в цілому цей час незначний. Так, при $\kappa_ф$ більше 0,5 м/д час руху стоків не перевищує декількох діб навіть при відносно великій потужності зони аерації (m > 10 м); при $\kappa_ф$ менше 0,5 м/д час фільтрації збільшується до декількох діб; при $\kappa_ф$ менше 0,01 м/д і m більше 20 м - час фільтрації досягає $n \cdot 100$ діб.

При двошаровій будові зони аерації з водотривким верхнім шаром (водоупором) час інфільтрації стоків (фільтрату) до рівня ГВ складається із часу руху у верхньому (t_1) та нижньому (t_2) шарах. Час t_1 визначається за формулами (5.25) та (5.26) підстановкою в них параметрів K_1, m_1 для верхнього шару, а час t_2 визначається за формулою (*В.М. Гольдберг*, 1987):

$$t = n_2 \cdot H/\kappa_{ф2} \cdot \{\, m_2/H - [1 - m_1/H(\kappa_{ф2}/\kappa_{ф1} - 1)]\, ln(1 + m_2/H + m_1)\,\}, \qquad (7.3)$$

де n_2, m_2, κ_2 - відповідно пористість, потужність і коефіцієнт фільтрації нижнього відносно добре проникного шару.

Аналіз показав, що при $\kappa_1/\kappa_2 < 0{,}1$ часу руху стоків у двошаровому розрізі, в основному, визначається часом руху через верхній, слабкопроникний (водотривкий) шар. Тому для наближеної оцінки часу руху стоків крізь двошаровий розріз можна обмежитись визначенням за формулами (7.1) і (7.2) часу руху стоків крізь слабкопроникний шар шляхом

підстановки у ці формули параметрів водотривкого шару. У випадку неоднорідності будови відкладів зони аерації можливий інший наближений підхід: приведення неоднорідного розрізу до однорідного з середнім коефіцієнтом фільтрації:

$$к_{ср} = m / (m_1 / к_{ф1} + m_2 / к_{ф2} + ... + m_i / к_{фi}), \quad (7.4)$$

де - $m_1, m_2, ... m_i$ - товщина окремих шарів, м; $к_{ф1}, к_{ф2}, ... к_{фi}$- коефіцієнти фільтрації цих же шарів, м/доб; m - товщина зони аерації, м.

При фільтрації з поверхні землі стічних вод, що скидаються з постійною витратою Q у приймач площею F, можуть бути два випадки.

Якщо $q \le к_ф$ ($к_ф$- коефіцієнт фільтрації порід зони аерації у випадку однорідного розрізу, $q = Q / F$), то стічні води, які потрапляють на поверхню землі (днище полігону) повністю підуть на інфільтрацію, не утворивши на поверхні стовпа води ($H \approx 0$). В такому випадку час досягнення стічними водами рівня ГВ може бути визначений за формулою

$$t = m \cdot n / \sqrt[3]{q^2 \cdot k_ф} \quad (7.5)$$

Якщо ж $q \ge к_ф$, то на поверхні землі утворюється стовп стічних вод, що змінюється у часі $H = f(t)$, і час фільтрації до рівня ҐВ може бути визначений за формулою:

$$t = \frac{m}{\frac{(1-n) \cdot k_ф}{2n} + \sqrt{\frac{(1-n)^2 \cdot k_ф^2}{4n^2} + \frac{q \cdot k_ф}{n}}} \quad (7.6)$$

Якщо розріз неоднорідний і складається із декількох шарів з різними фільтраційними властивостями, то час фільтрації можна оцінити таким чином. Якщо $к_ф$ кожного шару більший q, то неоднорідний розріз приводиться до однорідного за допомогою формули (7.4) і розрахунок величини t виконується за формулою (7.5) при підстановці в неї замість $к_ф$ значення $к_ф(ср)$. Так саме чинять, якщо $к_ф$ кожного шару менший q, але тільки у цьому випадку величину t розраховують за формулою (7.5). Нарешті, якщо для одних шарів $к_ф \le q$, а для інших $к_ф \ge q$, то величина t визначається для кожного шару: для шарів з $к_ф \le q$ за формулою (7.5), а для шарів з $к_ф \ge q$ за формулою (7.6), і далі одержані значення підсумовуються (*В.М. Гольдберг*, 1987):

Для розрахунку часу фільтрації за формулами (7.5) і (7.6) як розрахункове значення q приймається 0,03 м/д. За даними *В.М. Гольдберга* (1987), скид стічних вод складає: на комунальні поля зрошення 10-30, на

землеробські поля зрошення не більше 5-20 і на поля фільтрації 100-300 $м^3$/доб. У відповідності з цими даними, приймаючи Q = 300 $м^3$/д, F = 1га = 10000$м^2$, маємо q = 0,03 м/доб.

За часом досягнення рівня ҐВ виділяються такі категорії захищеності ґрунтових вод: I - t < 10 д; II - t = 10-50 д; III - t = 50-100 д;

IV - t = 100-200 д; V - t = 200 - 400 д; VI - t > 400 діб. Отже, чим вища категорія, тим краще природна захищеність ГВ від техногенного забруднення.

Приклади кількісної оцінки ступеня захищеності ґрунтових вод.

Варіант 1. Джерелом забруднення ҐВ є накопичувач рідких промислових відходів. Висота стовпу промислових стоків у накопичувачі (H) складає 1,5м.

Породи зони аерації мають наступні усереднені характеристики:

1) потужність (m) – 15м;

2) пористість порід у частках одиниці (n) - 0,17;

3) коефіцієнт фільтрації ($к_ф$) – 0,012 м/доб.

Для оцінки часу фільтрації (t) з накопичувача рідких промислових відходів може бути використана формула (7.3):

$$t = (0,17 \cdot 1,5/ 0,012) \cdot [15 / 1,5 - ln (1+ 15 / 1,5)] = 162 \text{ доби.}$$

Варіант 2. Стичні води скидаються на поверхню землі та практично націло інфільтруються, не утворюючи стовпа рідини.

Породи зони аерації мають наступні усереднені характеристики:

1) потужність (m) – 17м;

2) пористість порід у частках одиниці (n) = 0,21;

3) коефіцієнт фільтрації ($к_ф$) – 0,014 м/доб.

В цьому випадку розрахунок часу досягнення рівня ҐВ визначається за формулою (7.5):

$$t = 17 \cdot 0,21/ \sqrt[3]{0,03 \cdot 0,014} = 155,2 \text{ доби.}$$

Завдання для самостійної роботи

1. Розрахувати час досягнення забруднених стоків (t) з накопичувача рідких промислових відходів до поверхні ҐВ за вихідними даними, які наведені у табл. 7.1.

2. Розрахувати час досягнення забруднених стоків ҐВ (t), які скидаються на поверхню землі та практично націло інфільтруються, не утворюючи стовпа рідини за вихідними даними, які наведені у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для кількісної оцінки природної захищеності ґрунтових вод

№ варіанта	*H*, м	Потужність порід зони аерації (*m*), м	Пористість (*n*) в частках одиниці	Коефіцієнт фільтрації ($\kappa_ф$), м/д
1	1,5	2,0	0,17	0,012
2	2,0	1,0	0,16	0,010
3	1,6	2,0	0,17	0,011
4	1,7	1,0	0,15	0,012
5	1,2	2,0	0,16	0,016
6	1,8	1,0	0,16	0,012
7	1,9	2,0	0,15	0,011
8	1,5	2,0	0,15	0,013
9	1,8	1,0	0,18	0,012
10	1,3	2,0	0,17	0,012
11	1,5	3,0	0,16	0,015
12	1,8	2,0	0,15	0,014
13	1,4	1,0	0,18	0,014
14	1,7	2,0	0,14	0,012
15	1,8	1,0	0,15	0,012

8 ОЦІНКА ПРИРОДНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ ҐРУНТОВИХ ВОД ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЕЙ МАСОПЕРЕНОСУ

В теперішній час у світовій практиці використовується декілька методичних підходів до оцінки захищеності ПВ від техногенного забруднення. Оцінка захищеності ПВ територій виконується окремо для напірних (артезіанських) і для ґрунтових ВГ. Обидві зазначені методики не враховують такого важливого фактору, як захисна роль ґрунтового шару, що є майже єдиною перешкодою для проникнення ЗР.

Тому захищеність ҐВ від забруднення доцільно виконувати за часом (t), необхідним для міграції консервативного компоненту від земної поверхні до рівня ҐВ. Цей час (в роках) для шаруватої товщі, яка складається із i-шарів, можна підрахувати за формулою (*Тепло- и масообмін*..., 1982)

$$t = (40/W) \sum m_i \, (k_{фi})^{-1/n} \qquad (8.1)$$

де m_i – потужність i-шару, м; $k_{фi}$ – коефіцієнт фільтрації i-шару, м/д; W – інтенсивність інфільтраційного насичення, мм/рік; n – безрозмірний показник ступеню, що залежить від прийнятої моделі вологопереносу (для суглинків = 4,0, для пісків = 3,6).

Експериментально встановлено п’ять рівнів захищеності ҐВ за часом інфільтраційного проникнення ЗР при даному інфільтраційному насиченні: 1) t < 1 року – дуже слабко захищені ҐВ; 2) t = 1-3 років – слабко захищені ҐВ; 3) t = 3-5 років – відносно захищені ҐВ; 4) t = 5-10 років – практично захищені ҐВ; 5) t > 10 років – захищені ҐВ.

Приклад оцінки природної захищеності ґрунтових вод від забруднення за допомогою моделей масопереносу.

Визначить захищеності ґрунтових вод від техногенного забруднення за допомогою моделей масо переносу при таких вихідних даних:

- інтенсивність інфільтраційного насичення (W) = 60 мм/рік;
- перший шар (суглинки): m_1 = 1,0м; $k_{ф1}$ = 0,5 м/доб; n_1 = 4,0;
- другий шар (глинки): m_2 = 0,8м; $k_{ф2}$ = 0,001 м/доб; n_1 = 4,0.

За формулою 8.1 розраховується термін (t), необхідний для міграції консервативного компоненту від земної поверхні до рівня ґрунтового ВГ, який находиться на глибині 1,9м.

$t = (40/60)[1{,}0 \cdot 0{,}5^{-1/4}) + (0{,}8 \cdot 0{,}001^{-1/4})] = 0{,}67[1{,}0 \cdot 1{,}2)+(0{,}8 \cdot 5{,}62)] =$ 3,81 року.

Згідно отриманої величини t, рівень захищеності ґрунтових вод від техногенного забруднення в даному випадку – «відносно захищені».

Завдання для самостійної роботи

Встановити рівень захищеності ґрунтового водоносного горизонту, користуючись даними таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 - Вихідні дані для оцінки захищеності ґрунтових вод

№ варіанту	W, мм/рік	Ґрунтовий масив	Глибина залягання рівня ГВ, м	m_1, м	$k_{фі}$, м/д
1	2	3	4	5	6
1	80,0	глини	2,90	1,0	0,001
		мулисті глини		1,85	0,01
		піски		2,0	4,0
2	88,0	глини	1,90	0,5	0,001
		супіски		1,2	0,5
		піски		3,0	6,0
3	82,0	суглинки	2,2	0,8	0,3
		супіски		1,4	0,5
		піски		3,6	6,0
4	65,9	глини	5,90	2,0	0,001
		мулисті глини		1,85	0,01
		піски		3,0	4,0
5	59,3	суглинки	2,0	0,8	0,3
		супіски		1,2	0,5
		піски		3,6	6,0
6	90,0	глини	6,90	3,0	0,001
		мулисті глини		2,85	0,01
		піски		4,0	4,0
7	76,8	суглинки	2,4	0,9	0,3
		супіски		1,4	0,5
		піски		3,6	6,0
		суглинки		0,7	0,1
8	72,4	глини	1,7	0,3	0,001
		супіски		1,2	0,5
		піски		3,0	6,0
9	82,4	суглинки	4,4	0,9	0,3
		супіски		2,4	0,5
		піски		3,6	6,0
10	34,8	глини	6,99	3,2	0,001
		мулисті глини		2,8	0,01
		піски		4,1	4,0
11	69,4	суглинки	6,30	1,5	0,3
		глини		1,0	0,001
		супіски		3,0	0,5
		суглинки		0,7	0,1
12	91,4	глини	11,0	0,7	0,001
		суглинки		3,8	0,4
		піски		1,1	3,0
		супіски		1,8	1,05
13	74,9	глини	14,0	1,2	0,001
		суглинки		3,8	0,4
		піски		1,6	3,0
14	83,3	піски	3,2	1,6	10,0
		супіски		1,6	0,4

9 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ВОД ВНАСЛІДОК ВИКИДУ В АТМОСФЕРУ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Формування складу ҐВ відбувається під впливом різних джерел техногенного забруднення. Деякі з них приводять до регіональних змін в складі ҐВ, інші проявляються локально лише в безпосередньої близькості від джерела техногенного забруднення. Дослідженнями територій, де розташовані промислові та теплоенергетичні комплекси, встановлено істотний вплив на фізико-хімічні властивості ҐВ викидів ЗР в атмосферне повітря (наприклад, викиди діоксиду сірки тепловими електростанціями провокують забруднення ҐВ сульфатами).

Для оцінки ступеня впливу викидів ЗР в повітряний басейн на зміни у складі ГВ насамперед необхідно виконати розрахунки приземної концентрації окремої ЗР. З цією метою можна використовувати гаусовську модель, за якою середньорічна концентрація тієї або іншої ЗР в приземному шарі атмосферного повітря на висоті 1,5м від поверхні землі (C_A, г/м^3) визначається за формулою

$$C_A = Q/\overline{\pi\sigma_z\sqrt{2}\cdot\pi\cdot u}\,[exp(-h^2/2\sigma_z^2)+exp(+(2A+h^2)/2\sigma_z^2)+exp(-(2A+h^2)/2\sigma_z^2)] \quad (9.1)$$

де Q – інтенсивність викидів ЗР, г/с; u – швидкість вітру на висоті джерела викиду ЗР, м; σ_z – стандартне відхилення концентрації забруднюючої речовини по вертикалі (o_z=0,006 (1+0,0015 x)$^{-1/2}$; x – відстань від техногенного джерела до розрахункової точки; A – висота інверсійного шару над поверхнею землі, м (A = 800м); h – висота центральної вісі факелу викиду на поверхнею землі, м.

Процес забруднення ҐВ сульфатами розглядається також шляхом чисельного моделювання міграції і вологопереносу в зоні аерації.

Початковий вміст сульфатів в ҐВ (C_s) на даний час можна експериментальним підрахунком балансу солей за формулою

$$C_s = C_{ГВ} + Q_A\cdot C_A/W, \quad (9.2)$$

де $C_{ГВ}$ – вміст SO_4^{2-} в ҐВ до початку забруднення; Q_A – середньорічна величина опадів за розрахунковий період t років, мм/рік; C_A – середній багаторічний вміст SO_4^{2-} в приземному шарі атмосфері, мг/дм^3; W – інтенсивність інфільтраційного насичення, мм/рік;

Час, за який буде встановлено рівноважне становище між находженням і накопиченням ЗР (SO_4^{2-}) в зоні аерації можна оцінити за формулою

$$t = 3V/W, \qquad (9.3)$$

де V – об'єм вологи в зоні аерації, що приходиться на одиницю площі горизонтального перетину (*мм*) при заданій середній вологості порід зони аерації (G) у долях одиниці:

$$V = H \cdot G, \qquad (9.4)$$

де H - потужність зони аерації, м.

Приклад оцінки забруднення ґрунтових вод внаслідок викиду шкідливих речовин техногенного походження в атмосферу.

Дати оцінку забруднення ґрунтових вод SO_4^{2-} внаслідок викиду шкідливих речовин техногенного походження в атмосферу при таких вихідних даних:

– інтенсивність викидів ЗР (Q) = 55000 т/рік = $17{,}46 \cdot 10^2$ г/с;

– відстань від джерела до розрахункової точки (x) = 100 м;

– висота центральної вісі факелу викиду на поверхнею землі (h)= 50 м;

- середня швидкість вітру на висоті джерела викиду ЗР (u) = 5 м/с;

За формулою (9.1) зробимо підрахунок величини середньорічної концентрації SO_2 в приземному шарі атмосфері:

$$C_A = 1746/3{,}14 \cdot 5{,}59\sqrt{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5}\ [exp250/2 \cdot 31{,}3) + exp(2 \cdot 800 + 250/2 \cdot 31{,}3) + exp(2 \cdot 800 + 250/2 \cdot 31{,}3)] = 17{,}75 \cdot [0{,}0183 + 5{,}05 \cdot 10^{-8} + 5{,}05 \cdot 10^{-8}]$$

Оскільки друга і третя складові дуже незначні за величиною, їх можна не врахувати, тому в цьому випадку

$$C_A = 17{,}75 \cdot 0{,}0183 = 0{,}324 \text{ г/м}^3.$$

Далі розраховуємо вміст SO_4^{2-} в ґрунтових водах за формулою (6.3), якщо відомо, що $C_{ГВ}$ = 25 мг/дм^3, Q_A = 500 мм/рік, W = 60 мм/рік.

$$C_s = 25 + 500 \cdot 0{,}324/60 = 27{,}7 \text{ мг/дм}^3.$$

Час, за який буде встановлено рівновага між находженням і накопиченням ЗР (SO_4^{2-}) в ГВ, можна підрахувати за формулами (9.3) і (9.4) при заданих величинах H = 3 м та G = 0,17: $V = 3 \cdot 0{,}17 = 0{,}51$м = 510мм; $t = 3 \cdot 510/60 = 25{,}5$ років.

Завдання для самостійної роботи

Виконати розрахунки середньорічної концентрації діоксиду сірки за формулою (9.1), збільшення вмісту сульфатів в ґрунтових водах внаслідок викиду шкідливих речовин техногенного походження в атмосферу за формулою (9.2) та часу встановлення становища між находженням і накопиченням ЗР, користуючись даними табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Вихідні дані для розрахунку середньорічної концентрації діоксиду сірки у ґрунтових водах

№ варіанту	Q, мм/рік	u, м/с	h, м	x, м	$C_{ГВ}$, мг/дм^3	Q_A, мм/рік	W, мм/рік	H, м	G, дол. од.
1	56700	15	125	2000	50	600	80	3	0,15
2	11700	10	85	4000	5	450	60	2	0,16
3	18000	8	60	1000	65	750	91	4	0,22
4	34000	17	67	3000	46	550	76	5	0,20
5	34577	5	100	2000	34	650	56	7	0,17
6	75640	12	70	2000	45	550	71	4	0,20
7	34895	15	80	1000	63	580	47	6	0,19
8	56070	10	65	3000	47	700	63	8	0,70
9	48750	7	59	3000	58	654	56	3	0,22
10	45670	8	67	1000	48	350	63	2	0,20
11	67900	5	85	1000	37	470	27	4	0,21
12	17000	12	91	2000	16	460	37	3	0,17
13	34000	10	123	2000	35	460	46	6	0,15
14	65000	6	111	3000	23	670	85	7	0,18
15	45000	8	70	3000	17	720	73	2	0,20
16	43300	9	90	2000	16	700	81	4	0,20
17	67500	7	50	1000	14	560	37	5	0,22
18	56700	10	57	1000	38	450	56	6	0,23
19	87600	15	68	1000	48	560	65	7	0,20
20	43980	9	87	2000	58	480	60	5	0,19
21	57700	14	110	2000	52	530	70	4	0,19
22	35677	6	90	2000	37	620	51	6	0,16
23	68000	5	80	1000	40	500	37	4	0,22
24	12700	11	82	4000	4	550	62	3	0,17
25	19000	9	63	1000	60	770	77	4	0,21