и табл. 2. (Сравнение результата с оптимизационным методом, заложенным в Инструкции, не представляется возможным, поскольку этот метод не предусматривает регулирование процессом очистки СВ.)Из результатов расчета видно, оптимизационный подход обеспечивает соблюдение экологической безопасности отведения сточных вод при меньших денежных затратах по сравнению с базовым подходом, изложенным в Инструкции.

Выводы

Предлагаемый вариант оптимизационной задачи по расчету ПДС имеет следующие преимущества по сравнению с оптимизационной задачей, изложенной в действующей Инструкции:

- в задачу включаются помимо эксплуатационных еще и капитальные затраты на строительство и установку ОС;
- учитывается возможность регулирования параметрами очистки СВ;
- обеспечивается принцип сохранения сложившегося качества ВО.

Дальнейшие исследования в этом направлении заключаются в детальной постановке оптимизационной задачи по нахождению допустимого состава СВ, прошедших биологическую очистку.

Литература

1. Водный кодекс Украины. К., Видавничий Дім “Ін Юре”, 2004. – 138 с..
2. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами: Затв. Мінприроди України 15.12.94. – Харків: УкрНЦОВ, 1994. – 79 с.
3. Сташук В.А., Яцик А.В. До питання водної політики в Україні на принципах басейнового управління водними ресурсами: [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://tib.znaimo.com.ua/download/docs-9401/25500-9401.doc.
4. Проскурнин О.А. Разбиение бассейна реки на локальные участки при реализации бассейнового принципа нормирования водоотведения / О.А. Проскурнин, Ю.И. Капанина, О.И. Капанина // Водні ресурси України та меліорація земель: матеріали міжнар. конф., м. Київ, 22 берез. 2013 р — К., 2013. — С. 170—171.
5. Проскурнин О.А. Оптимизационный подход к нормированию в сточных водах последовательно трансформирующихся веществ // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб. наук. пр. УкрНДІЕП – Харків: ВД “Райдер”, 2009. – №31 – С. 124–133.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України N465 від 25.03.99.
7. Мишуков Б.Г., Соловьева Е.А. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2004. – С. 6-9.
8. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту). Наказ Мінагрополітики N 471 від 30.07.2012 //http://www.leonorm.com.ua/P/NL_DOC /UA/201201/Nak471.htm

УДК 504.054:504.06:504.75

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ

Новохацька Н. А., Крета Д. Л.
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України,
Чоколівський бульв., 13, 03186, м. Київ,
E-mail: 6802146@ukr.net ; novokhatska.natalia@gmail.com

Пропонується методологія моделювання та прогнозування забруднення навколо місць видалення відходів. Наведено результати дослідження впливу сміттєзвалищ на підземні води. Використано математичне моделювання міграції забруднення за глибиною потоку. Ключові слова: тверді побутові відходи, місця видалення відходів, моніторинг, моделювання.

Моделирование и прогнозирование влияния свалок на подземные воды. Предлагается методология моделирования и прогнозирования загрязнения вокруг мест удаления отходов. Представлено исследование влияния свалок на подземные воды. Использовано математическое моделирование миграции загрязнения по глубине потока. *Ключевые слова:* твердые бытовые отходы, места удаления отходов, моделирование

Modelling and forecasting the impact of landfills on groundwater. This article proposes a methodology for modeling and prediction of pollution around waste disposal sites. Presented by the study of the impact of landfills on groundwater. Used mathematical modeling of pollution migration depth of flow. *Keywords:* municipal solid waste, waste places, modeling

Прогресуюче накопичення відходів призводить до появи величезної кількості звалищ і полігонів для їхнього зберігання. В Київській області, наприклад, станом на 01.01.2013р. налічується 30 полігонів для твердих побутових відходів (ТПВ) загальною площею 255,56 га. Ситуація, яка склалася з утворенням, використанням і захороненням відходів, призводить до значних втрат природних ресурсів, виникнення незворотних процесів забруднення навколишнього середовища і завдає реальної загрози здоров'ю населення. Органічна речовина, що міститься в твердих побутових відходах утворює складний за хімічним складом фільтрат. Проникнення фільтрату в ґрунт і ґрунтові води призводить до забруднення, яке поширюється на значні відстані від полігону ТПВ. До стійких токсикантів відносяться важкі метали, адже вони в природних умовах погано розкладаються. З полігону до підземних вод потрапляють також хлориди, нітрати, сульфати та інші хімічні сполуки. Полігон ТПВ є гігантським реактором, де відбуваються процеси окислення, хімічного і біологічного розкладу органічних речовин та їх детоксикація. Звалище ТПВ, окрім відчуження значних кількостей землі, є джерелом за-

бруднення оточуючого середовища токсичними елементами, які не можуть бути залученими до природних циклів кругообігу речовин. Рухаючись трофічними ланцюгами, вони потрапляють до організму людини, завдаючи їй незворотних змін.

Постановка завдання та об'єкт дослідження

Дослідження впливу звалища ТПВ на стан навколишнього природного середовища проводяться в більшості країн світу. В Україні питанням забруднення території навколо місць видалення відходів приділено значну увагу науковцям (Яковлев Є. О., Красовський Г. Я., Клименко В. І., Бондар О. І., Пирський О. А., Медведєва О. В., Олевська Т. В., Лисиченко Г. В., Орлова Т. О., Колядинський М. І., Годовська Т. Б., Фещенко В. П. та інші). Але, не зважаючи на велику кількість робіт щодо поводження з твердими побутовими відходами, слід зазначити, що ця проблема залишається мало вивченою.

Враховуючи суттєвий вплив полігонів для твердих побутових відходів на довкілля, виникає необхідність дослідження зони ураження токсичними речовинами, що мігрують із фільтратом. На сьогодні забруднення навколишнього середовища контролюється контактними методами (прямими), але практика свідчить про можливість і ефективність використання непрямих методів. Метою даного дослідження є обґрунтування можливості контролю стану довкілля методами математичного моделювання зони забруднення навколо місць видалення відходів.

Дослідження проводили на полігоні ТПВ Києво-Святошинського району Київської області. Полігон розташовано в яру поблизу (1 км) ставка, який має рибогосподарське та рекреаційне значення для населення прилеглих населених пунктів, а постійний дренажний стік утворює невелику річку Сіверку. Таке розташування сміттєзвалища дає підстави стверджувати про наявний постійний і значний вплив на навколишнє природне середовище та здоров'я населення цього потенційно небезпечного об'єкту.

Методика проведення досліджень.

При дослідженні основних шляхів розповсюдження токсичних шкідливих речовин, що утворюються на полігоні, необхідно було вивчити міграційний потік забруднювачів. Оскільки пряме вимірювання його є практично неможливим через надзвичайно складний механізм формування шляхів міграції фільтрату з території полігону в масив, то було запропоновано використати методи математичного моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища. Для вирішення поставлених завдань використані діючі методичні прийоми, які забезпечують комплексність досліджень під час аналізу впливу процесу фільтрації від джерела забруднення на довкілля [1].

Істотний вплив від сміттєзвилищ зазнають ґрунтові води, забруднення потрапляє з поверхні ґрунтового покриву за рахунок фільтрації. Міграція забруднення відбувається за глибиною потоку в результаті дії конвективного і дифузно-конвективного переносу разом із основним переносом за напрямом потоку. Тому необхідно враховувати різні коефіцієнти дисперсії D_L та D_T уздовж і поперек напрямку. Вплив поперечної дисперсії буде здійснюватись у лінійному потоці водоносного пласту потужністю m. Дифузна міграція забруднення має три зони (рис. 1.): зона часткового змішування, в межах якої забруднення не розповсюджується на всю потужність пласта; зона перемішування, в якому забруднення відбувається у всьому пласті; зона повного змішування, в якому забруднення розповсюджується рівномірно.

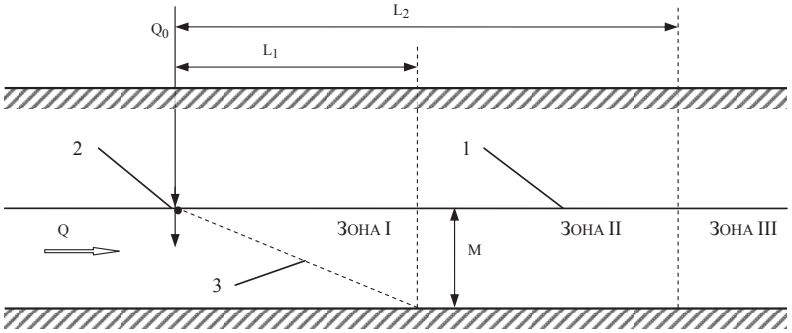

Рис. 1 Розподіл міграції забруднення в потоці ґрунтових вод: 1 – поверхня рівня ґрунтових вод; 2 – місце надходження забруднення до ґрунтових вод; 3 – дифузне розповсюдження забруднення; l_1 – зона часткового змішування, м.; l_1 – зона перемішування, м.; l_1 – зона повного змішування, м.; m – потужність водоносного пласту, м.; q_0 – надходження забруднення до грунтових вод, м^3/с; q – питома витрата потоку, м^3/с.

Розподіл концентрації забруднення описується рівнянням з урахуванням сумарного коефіцієнта мікродисперсії D і має вигляд:

$$c = \frac{q_0 c_0}{\sqrt{\pi r \nu D}} \exp\left[-\frac{\nu(r-x)}{2D_L}\right], \quad (1)$$

де c – концентрація забруднення в ґрунтовій воді; q_0 – надходження забруднення до грунтових вод, м^3/с; c_0 – концентрація джерела забруднення мг/л; r – відстань від водоупору водоносного шару до місця, де викид забруднення відбувся через t, м.; ν – швидкість фільтрації; D – сумарний коефіцієнт мікродисперсії; x – довжина потоку; D_L – коефіцієнт дисперсії уздовж напрямку потоку.

Дослідження, проведені Колядинським М. І., підтверджують, що дані математичних моделей та натурних вимірів достатньо співпадають. Тому представлена модель була використана для встановлення концентрації забруднення на досліджуваній території [2].

Результати дослідження

Досліджуване сміттєзвалище твердих побутових відходів розташовано між селищами Тарасівка і Крюківщина в межах зандрової рівнини Київського полісся. Рівнина розчленована яружно-балковою системою, відмітки поверхні землі 155-

164 м. У геоструктурному відношенні район дослідження розташований в межах східного схилу Українського кристалічного щита. Геологічний розріз представлений четвертинними флювіогляціальними відкладами, які підстилаються грунтами неогену та палеогену. Флювіогляціальні відклади складаються з супісків та пісків кварцевих дрібних і середнього розміру, що залягають до глибини 20 метрів. На дні балки, яка використовується під сміттєзвалище, залягають пролювіальні супіски і піски потужністю до 5 м.

В районі розташування сміттєзвалища виявлено два горизонти грунтових вод, що схематично зображено на рисунку 2. Перший горизонт залягає в пролювіальних пісках на глибині 1,5 м. Його виявлено тільки в дні балки, в її частині. У верхній частині балки він відсутній. Тобто, перший горизонт формується безпосередньо в балці за рахунок атмосферних опадів. Другий водоносний горизонт залягає на глибинах 5,5 – 12 м, відповідно в дні балки і біля верхньої частини схилів. Водовмісними грунтами є флювіогляціальні піски.

Перший і другий водоносні горизонти розділені тонким шаром супіску. Розвантаження горизонтів відбувається в східному напрямку уздовж балки. В середній частині перший горизонт води виходить на поверхню дна балки і утворює струмок. Другий водоносний горизонт утворює джерела в нижній частині балки.

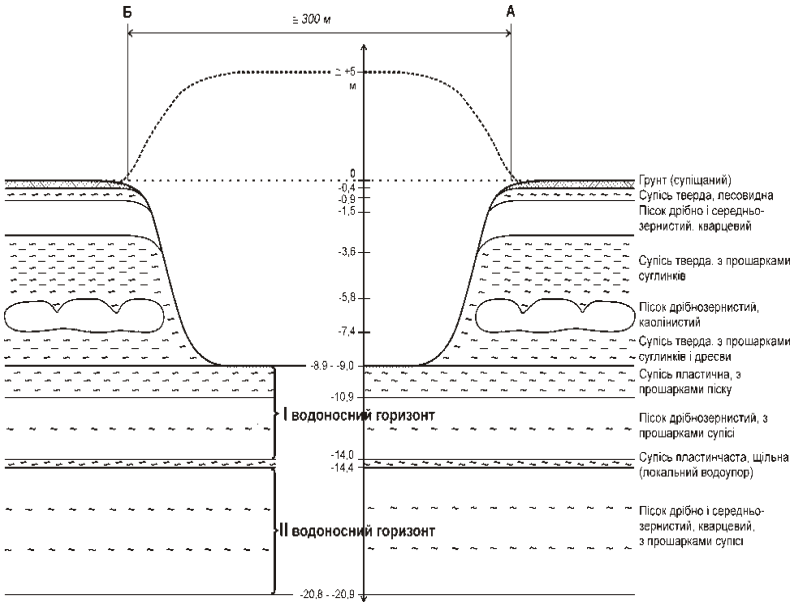

Рис. 2. Схематичний гідрогеологічний розріз балки, де розташований полігон ТПВ

За хімічним складом води належать до групи гідрокарбонатних кальцієвих, кальцієво-магнієвих, і магнієво-кальцієвих. Загальна мінералізація їх 0,06 -0,6 г/л. Дебіти свердловин змінюються від 15-20 до 30-35 л/сек. при питомих дебітах від 0,7-2 до 3-5 л/сек.

Моніторинг за якістю підземних вод здійснюється через спеціальну мережу свердловин та за виходами підземних (дренажних) вод на поверхню. Одна спостережна свердловина побудована в днищі балки нижче розташування сміттєзвалища, друга свердловина – вище сміттєзвалища і є контрольною на чисту воду. Результати спостережень наведені в таблиці 1. Проаналізовано забруднення підземних вод нітратами, що перевищують показники ГДК в декілька разів (рис. 3).

Таблиця 1 Моніторинг підземних вод в районі розташування досліджуваного полігону ТПВ

№ п\п	Показник	Норма	2010 рік				2011 рік				2012 рік			
			Свердловина №1		Свердловина №2		Свердловина №1		Свердловина №2		Свердловина №1		Свердловина №2	
			Факт	Пер-ня	Факт	Пер-ня	Факт	Пер-ня	Факт	Пер-ня	Факт	Пер-ня	Факт	Пер-ня
1.	Запах, бал.	1	4	+	3	+	2	+	2	+	3	+	3	+
2.	Кольоровість, град.	-	455	+	853	+	25	+	48	+	25	+	17	+
3.	Мутність	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	Рн	6,5-8,5	7,6	-	7,4	-	6,7	-	6,9	-	6,8	-	7,4	-
5.	Окислення, мг/ел	6	11,8	+	9	+	8	+	8	+	5,2	-	3	-
6.	Азот аміаку, мг/л	2	2,5	-	5,5	+	1	-	2,9	+	3,6	-	0,26	-
7.	Азот нітритів, мг/дм	3,3	0,096	-	0,033	-	0,17	-	0,025	-	0,22	-	0,026	-
8.	Азот нітратів, мг/дм	0,45	<0,5	+	<0,5	+	<0,6	+	<0,5	+	<2,25	+	<12,0	+
9.	Загальна жорсткість, мг-екв/дм3	7	7	-	10	+	3,5	-	5	-	10	+	5	-
10.	Хлориди, мг-дм	350	82,6	-	78,4	-	43,4	-	68,6	-	102,2	-	21	-
11.	Сульфати, мг-дм	500	2,5	-	16,2	-	14,2	-	4	-	29,4	-	25,4	-
12.	Залізо, мг-дм	0,3	7,1	+	8,4	+	8	+	6,7	+	7,8	+	8,2	+

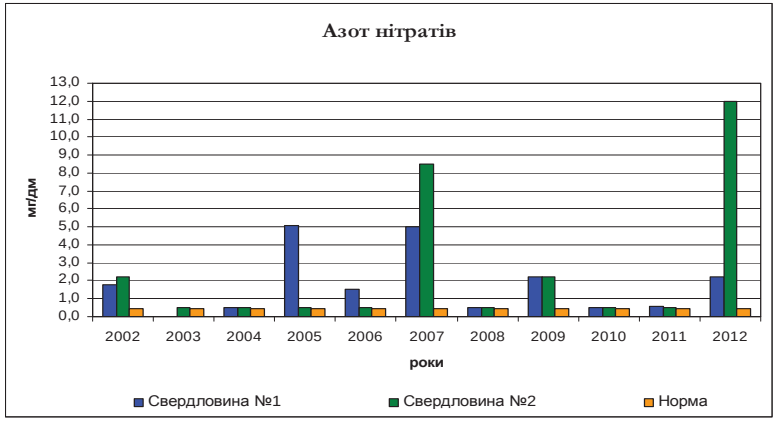

Рис.3. Аналіз забруднення підземних вод

Дренажний стік на поверхні накопичується у відстійнику утворюваного фільтрату. Спостереження хімічного складу фільтрату не проводяться службами моніторингу, тому було проведено відбір проб води із відстійника в (табл. 2.). Перевищення показників ГДК зафіксовано в декілька разів.

Таблиця 2 Аналізи проб води в ставку-накопичувачі фільтрату

макрокомпоненти (мг/л)		2012р.	2013 р.	2014 р.	ГДК, мг/л
Натрій	Na	1940,40	1959,06	1980,26	120
Калій	K	1928,80	1916,90	1941,50	50
Кальцій	Ca	140,20	139,50	139,90	180
Магній	Mg	105,53	107,73	111,24	40
Залізо	Fe	2,58	2,73	3,26	0,3
Гідрокарбонат-іон	HCO3 -	0,00	0,00	0,00	250
Хлорид-іон	Cl -	0,00	0,00	0,00	250
Сульфат-іон	SO4 -2	932,30	972,20	994,50	250
Нітрати, сіль азотної кислоти	NO3 -	309,80	310,74	312,40	45
	Сум.мінерал.	5408,86	5408,86	5408,86	
	Сух.зал.(г/л)	13,532	13,734	14,149	1

Аналіз даних свідчить, що полігон ТПВ спричиняє забруднення ґрунту та підземних вод і розповсюджується в бік річки Сіверки, яка має свій початок саме із джерела біля сміттєзвалища. Було запропоновано спрогнозувати наслідки надзвичайної ситуації (НС) у МВВ - залповий скид забруднених стоків з його території (змив) та/або з водойми-накопичувача фільтрату (перелив через греблю чи її прорив). Перелив через греблю можливий навесні

під час аномально високої повені (швидкого танення великих снігів) або влітку-восени через аномально високі зливові опади [3]. На рисунку 4 – досліджуваний полігон ТПВ, розташування ставка-накопичувача фільтрату та зона ймовірного затоплення при аварійному залповому витоку фільтраційних вод.

Рис. 4. Ймовірна надзвичайна ситуація на полігоні ТПВ з аварійним викидом забрудненого фільтрату

Розрахунок об'єму аварійного скиду передбачає визначення площі водозбору ставка-накопичувача, площі і середньої глибини ставка до НС та максимально припустимої (фактичний і резервний об'єми ставка), інтенсивності (мм/сек) і тривалості опадів, інтенсивності просочування, висоти снігового покриву, інтенсивності і тривалості сніготанення тощо. Встановлення площі водозбору вимагає морфометричного аналізу, однак у першому наближенні вона може бути апроксимована площею складування відходів або загальною площею полігону.

Для досліджуваного полігону здійснено оцінку потенційного об'єму аварійного скиду на основі кліматичного параметра найбільших сумарних опадів за одну зливу у теплий період (квітень-листодад), що дорівнює 130 мм. Тривалість зливи прийнята у 0,5 годин (прирівняна до тривалості скидання забруднених стоків). Водозбірна площа ставка-накопичувача задана проектною площею полігону (15 га). Тоді максимальний об'єм аварійного стоку забруднених вод у ставок-накопичувач дорівнюватиме сумі стоку з полігону за цей час: $Q_1 \approx 19500$ м^3 ($Q_{(t)} \approx 39$ тис. м^3/год). Обсяг фільтрату до початку НС знайдено із його приблизних геометричних параметрів влітку 2011 р. (довжина 100, ширина – 20, середня глибина – 2 м.), тобто ≈ 4000 м^3. Резервний об'єм ставка (Q_2) прийнято у 30% від накопиченого обсягу фільтрату ≈ 1200 м^3. Тоді максимальний об'єм аварійного скиду забруднених стоків у балку нижче території

полігону становитиме: $Q_e = Q_1 - Q_2 \approx 18300$ м^2.

Упродовж руху приблизно у 1 км до рибогосподарського ставка (фронтом шириною до 200 м) хвиля поверхневого стоку забрудненого скиду зазнаватиме розбавлення відносно чистою водою (об'ємом $Q_3 = Q_{sv} + Q_{ds}$), а також просочування (приймаємо його максимальний обсяг у 10%, оскільки хвиля йтиме майже на 100% обводненими заболоченими луками і чагарниками). $Q_{sv} \approx 23400$ м^3, це – зливові опади з урахуванням просочування ($k_{пр} = 0,1$) над площею, якою пройшла хвиля (добуток фронту хвилі на довжину шляху, сумарні опади і коефіцієнт просочування). Q_{ds} – додатковий зливовий стік з незабруднених площ з урахуванням просочування (приймаємо $Q_{ds} = 0,2 \cdot Q_{sv} \approx 4680$ м^3). За наведених припущень об'єм надходження відносно чистої води становititme $Q_3 \approx 28080$ м^3 і загальний об'єм стоків, що досягне рибогосподарського ставка, становитиме: $Q = Q_e + Q_3 \approx 46340$ м^3, причому: $Q_e : Q \approx 39 : 100$. Обернено до цієї пропорції зменшиться концентрація забруднюючих речовин у аварійному стоці, що досягне рибогосподарського ставка.

Розподіл концентрації забруднення та оцінку впливу розповсюдження розчину фільтраційних вод за глибиною потоку було запропоновано здійснити на прикладі нітратів за формулою 1. Результати математичного моделювання конвективно-дифузного переносу представлені на рис. 5.

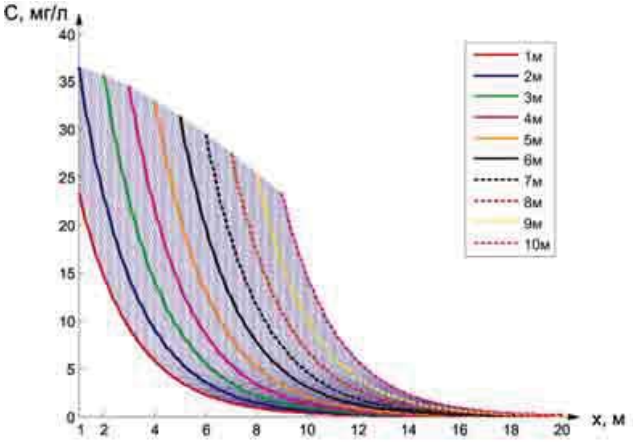

Рис. 5. Розподіл концентрації забруднення нітратами в ґрунті та підземних водах.

Моделювання зони забруднення навколо полігону здійснювалося у середовищі ГІС, що потребує створення цифрової моделі рельєфу з метою визначення показників крутості, ухилу, довжини схилів та тальвегів, контурів і площі водозборів на основі оцифрованих топографічних карт і планів, наприклад, засобами ArcINFO/ArcGIS з модулями Spatial Analyst та ArcScene/3Danalyst, які включають в себе індивідуальний

набір геопросторових тематичних шарів у векторній або растровій формах, а також атрибутивних даних у табличній або текстовій формах об'єкта дослідження. Для успішного виконання зазначених цілей було залучено до дослідження космічні знімки надвисокого просторового розрізнення (0, 5 – 15 м.) у спектральному діапазоні 0,4 – 1,1 мкм., а саме QuickBird, WorldView, GeoEye, Pleiades, Ikonos та інші.

Висновки.

За допомогою побудованої моделі проведено аналіз впливу полігону ТПВ на підземні води, які використовуються для водопостачання населеними пунктами поблизу МВВ. Представлене моделювання забруднення полігоном ТПВ дозволяє стверджувати, що забруднювачі від сміттєзвалища високо мінералізують ґрунти та ґрунтові підземні води, забруднюють р. Сіверку, що впливає на якість сільськогосподарської продукції, одержаної з угідь навколо полігону та на якість води у колодязях с. Тарасівка. Спрогнозований розвиток негативних явищ і процесів, що значно підвищує рівень екологічної безпеки на регіональному та державному рівні, надає можливість розробки комплексу заходів щодо зменшення впливу на довкілля ТПВ. Адекватне вирішення питання екологічно безпечного збереження побутових відходів забезпечать не тільки комфортні умови життя людей і оптимальні санітарно-гігієнічні умови їхньої діяльності, але й можливість існування атмосфери, гідросфери, літосфери та біосфери загалом.

Література

1. Стан довкілля: моделі та прогноз / Л. І. Антошкіна [та ін.]. – Д. : Наука і освіта, 2003. – 326 с.;
2. Довкілля в умовах впливу сміттєзвалищ / О. І. Бондар, Б. П. Клімчук, М. І. Колядинський, Я. О. Мольчак. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2013. – 246 с.;
3. Новохацька Н. А. Можливості застосування ГІС і ДЗЗ для оцінки потенційних еколого-економічних збитків від місць видалення відходів / Н. А Новохацька, О. Г. Рогожин, В. О. Трофимчук // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій» : збірник наукових праць. - Київ – Харків – АР Крим, 2013. – С. 158-165.