

И.А. Талалай

**АДАПТАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ *WQI* ДЛЯ  
ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ГРУНТОВЫХ ВОД  
ВБЛИЗИ МУСОРНОЙ СВАЛКИ**

Технический университет,  
г. Белосток, Польша  
izabela.tj@gmail.com

*Исследован уровень загрязнения грунтовых вод вблизи городской мусорной свалки. Для определения изменения качества грунтовых вод использовали модифицированный показатель *WQI*. Проанализировано 127 проб грунтовых вод для определения следующих параметров: рН, электропроводность, полициклические ароматические углеводороды, общий органический углерод, Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Hg. Среднее значение *WQI* для вытекающего потока грунтовых вод с территории свалки составило 8,01. Наиболее загрязненная вода была зафиксирована в пунктах наблюдения P2 и P3, расположенных на востоке от границы свалки, где значения *WQI* составили соответственно 9,12 и 10,48. Значение *WQI* в случае P1, который располагался на северо-западе от свалки, достигало уровня 4,41. Наивысшее значение *WQI* в исследованной воде было зафиксировано летом (среднее значение – 10,59), а самое низкое – в марте (среднее значение – 4,57). Уравнение линии тренда указывает на тенденцию к стабилизации качества воды в случае P1 и P2 и возрастающую тенденцию в P3.*

**Ключевые слова:** влияние свалки, загрязняющие вещества, показатель качества воды, фильтрат.

**Введение.** Несмотря на то, что мусорные свалки являются одной из главных угроз для запасов грунтовых вод, во многих странах они по-прежнему относятся к сфере общей практики управления сбором и удалением отходов. Грунтовые воды вблизи мусорных свалок наиболее подвержены загрязнению из-за наличия потенциального источника загрязнения – фильтрата, образующегося на месте соседней свалки [1 – 4]. Такое загрязнение грунтовых вод представляет серьезную опас-

© И.А. Талалай, 2014

ность пользователям местных ресурсов и самой природной среде [4]. В последнее время нормативные документы во многих странах предусматривают обязательную установку противofильтрационных устройств (прокладок) и систем сбора фильтрата [5]. Для большинства городских мусорных свалок в системе заграждений обычно используют геомембрану из высокоплотного полиэтилена (HDPE GM). Хотя геомембрана помещается на дне свалки, во время ее установки и эксплуатации мусорной свалки появляются определенные дефекты в высокоплотном полиэтилене [6], в результате чего грунтовые воды загрязняются.

Для оценки загрязнения грунтовых вод обычно используют стандарты ВОЗ для питьевой воды [7 – 9]. Однако они не всегда подходят для потенциально сильно загрязненных грунтовых вод вблизи мусорной свалки. Поэтому ряд авторов предложили другие методы и показатели для оценки данных, характеризующих качество грунтовых вод [7, 10 – 14]. Для этой цели использовали показатель качества воды (*WQI*), мультивариантный анализ, например кластерный анализ и анализ главных компонентов, либо другие статистические и математические методы.

Цель данной работы – оценка влияния мусорной свалки на качество грунтовых вод с помощью показателя *WQI*. Последний учитывает качество притока (исходное загрязнение) и оттока (загрязненная вода) грунтовых вод от места мусорной свалки.

**Методика эксперимента.** Для проведения исследований была выбрана мусорная свалка, расположенная в Гриневичах в юго-восточной части Подляского Воеводства в Польше (рис.1). Среднее количество осадков в этом районе составляет около 550 мм в 1 год. Летом выпадает ~ 40, осенью – 22, зимой – 17 и весной – 21% осадков. Среднегодовая температура – ~ 7°C.

Мусорная свалка в Гриневичах – один из крупнейших мусорных полигонов в Подлясье, который работает с 1981 г. (общая площадь – 40 га). Общее количество твердых отходов, размещенных на этом полигоне на конец 2010 г., – 308000 м<sup>3</sup>. Свалка состоит из пяти секций (пяти участков), среди которых участок А является самым старым (закрыт в 2001 г.); он не оборудован противofильтрационной системой и изолирован слоем глины (50 см) для защиты грунтовых вод.



Рис. 1. Район исследований (мусорная свалка в Гриневицах) с пунктами отбора проб грунтовых вод.

Фильтрат, образующийся в других секциях, сдерживается с помощью противofильтрационной прокладки из высокоплотного полиэтилена (толщиной 2,5 мм), помещенной на дно. В этих секциях фильтрат собирается перфорированными трубами, расположенными поверх прокладки, и выкачивается за пределы свалки в резервуар для хранения. Затем собранный фильтрат вывозят за пределы свалки в Гриневицах на муниципальную станцию очистки сточных вод. Количество фильтрата составляет ~ 25000 м<sup>3</sup> в 1 год.

Исследованный район покрыт песчаным пластом, под которым находится комплекс валунной глины. Свободная поверхность грунтовых вод расположена на уровне 0,95 – 5,4 м ниже поверхности земли. Свалка подмывается с западной стороны грунтовыми водами, протекающими в северо-восточном, юго-восточном и восточном направлениях.

*Показатель качества воды.* Для определения показателя качества грунтовых вод (*WQI*) вначале воспользуемся уравнением

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i S_i, \quad (1)$$

где  $W_i$  – относительный вес для  $i$ -того загрязняющего вещества грунтовых вод,  $S_i$  – субиндекс его накопления,  $n$  – количество загрязняющих веществ.

Весовые значения  $i$ -того загрязняющего вещества ( $w_i$ ) рассчитывают для 10 параметров. Эти параметры выбраны на основе их относительной значимости для состава фильтрата городской свалки и их

потенциала в загрязнении ресурсов грунтовых вод. Они включают большинство переменных, используемых для вычисления показателя загрязнения фильтрата (ПЗФ), который предложен в [15], а также переменные, используемые для мониторинга грунтовых вод [16]. Рассчитанные значения  $W_i$  для каждого параметра представлены в табл. 1.

Таблица 1. Относительный вес параметров

Параметр	ПЗФ*	ММС**	$w_i$	$W_i$
pH	+	+	2	0,0667
ЭП	–	+	1	0,0333
ПАУ	–	+	5	0,1667
ООУ	–	+	4	0,1333
Pb	+	+	3	0,1000
Cu	+	+	3	0,1000
Zn	+	+	3	0,1000
Cr	+	+	3	0,1000
Hg	+	+	3	0,1000
Cd	–	+	3	0,1000
			$\sum w_i = 30$	$\sum W_i = 1$

\* Параметры, включенные в показатель загрязнения фильтрата [15]; \*\* параметры, включенные в систему мониторинга мусорной свалки [16]. ПАУ – полициклический ароматический углерод; ООУ – общий органический углерод; ЭП – электропроводность.

Относительный вес параметров можно рассчитать в виде

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (2)$$

Максимальный вес, составляющий 5 и 4, установлен для ПАУ и ООУ, которые могут служить хорошими индикаторами загрязнения грунтовых вод фильтратом. Они часто встречаются на мусорных свалках и реже – в других источниках загрязнения; обычно присутствуют в повышенных концентрациях в фильтрате мусорных свалок и, следовательно, указывают на присутствие фильтрата в грунтовых водах

[17]. Показатели ЭП и рН получают соответственно вес, равный 1 и 2, поскольку такие высокие значения могут быть также результатом действия других источников загрязнения, а не только мусорной свалки (таких, как бытовые сточные воды, удобрения, атмосферные осадки и др.) и геологической формации [7, 9, 18]. Все тяжелые металлы получили вес, равный 3, поскольку они не относятся к часто встречающимся загрязнителям грунтовых вод в районе мусорных свалок [3]. Большинство осажденных тяжелых металлов остаются внутри свалок; высказываются предположения [19, 20], что < 0,02% этих металлов вымываются в течение первых 30 лет. Тяжелые металлы в грунтовых водах подвергаются активному поглощению и осаждению в магме [3].

Значение субиндекса ( $S_i$ ) для каждого параметра определяют путем деления концентрации в каждой пробе вытекающей (загрязненной) воды ( $C_p$ ) на ее концентрацию в пробе поступающей (исходной) воды ( $C_b$ ):

$$S_i = C_p / C_b. \quad (3)$$

Для определенного значения рН величину  $S_i$  следует вычислять путем подстановки в знаменатель нижнего значения рН, поскольку как снижение, так и повышение рН могут свидетельствовать о негативном влиянии мусорной свалки:

$$\text{либо } C_p / C_b, \quad \text{если } C_b < C_p \quad (4)$$

$$C_p / C_b, \quad \text{если } C_p < C_b. \quad (5)$$

Для вычисления  $WQI$  вначале необходимо рассчитать произведение  $W_i \cdot S_i$  для каждого химического параметра:

$$W_i \cdot S_i = w_i \cdot C_p / \sum w_i. \quad (6)$$

Таким образом,

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot C_p / C_b)}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (7)$$

В случае, если данные для загрязняющих веществ грунтовых вод, входящих в показатель *WQI*, отсутствовали, последний рассчитывали, используя концентрацию доступных загрязняющих веществ грунтовых вод в соответствии с уравнением

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^m (w_i \cdot C_f / C_b)}{\sum_{i=1}^m w_i}, \quad (8)$$

где  $m$  – количество параметров загрязняющих веществ в фильтрате.

*Отбор проб грунтовых вод.* Пробы грунтовых вод отбирали в период с 2004 по 2011 г.г. При определении размещения пунктов отбора проб учитывали топографические особенности, а также направление поверхностных и подповерхностных потоков загрязненных вод. Три пункта наблюдения (P1, P2, P3) располагались на грунтовых водах, вытекающих (загрязненных) с мусорной свалки, и один пункт наблюдения (P4) – на поступающих (исходных) водах. Для получения максимально надежных результатов отбор проб при специфических неблагоприятных условиях не проводили (например, после интенсивных атмосферных осадков либо после длительных периодов засухи). Пробы отбирали четыре раза в году с трехмесячными интервалами: в марте, июне, сентябре и декабре. В целом, за время проведения исследований было отобрано 127 проб (по 32 из каждого пункта отбора проб).

Эти пробы подвергали анализу в соответствии с руководством по мониторингу мусорных свалок для определения следующих параметров: рН, ЭП, ПАУ, ООУ и тяжелых металлов (Cr, Hg, Zn, Pb, Cd, Cu). Регулярно отбираемые пробы грунтовых вод доставляли в лабораторию и хранили при 4°C. Параметры определяли в соответствии со Стандартами Польши. Определение рН и ЭП проводили в день отбора проб с использованием потенциометрического метода определения рН (согласно PN90/C-04540-01) и кондуктометрического метода для определения ЭП (PN-EN 27888:1999). Пробы для анализов на содержание металлов сохраняли путем добавления  $\text{HNO}_3$ . Содержание тяжелых металлов, за исключением Hg, анализировали с помощью оптической эмиссионной спектрофотометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES) (PN-EN ISO 11885:2009), Hg – с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии (PB-IN 14: 25.06.2007), ООУ – с использованием метода инфракрасной спектрометрии (PN-EN:1484:1999), а

ПАУ – с использованием высокопроизводительной жидкофазной хроматографии с флуоресцентным обнаружением (ВЭЖХ-ФЛ).

Анализ этих данных включал основные показатели статистики (среднее значение, стандартное отклонение, медианное значение, минимальное и максимальное значения), линейную регрессию изменения химического состава воды в зависимости от времени определения крутизны характеристики и дисперсии для исследования сезонных изменений качества грунтовых вод. Этот анализ проводили с использованием программы StatisticaPL.

**Результаты и их обсуждение.** Статистические данные о качестве грунтовых вод вблизи мусорной свалки в Гриневичах представлены в табл. 2.

Грунтовые воды, поступающие на территорию мусорной свалки (исходные), имели рН в диапазоне от 5,7 до 7,5, а рН проб грунтовых вод, вытекающих с территории мусорной свалки (загрязненные), составляло от 5,4 до 7,8. В общем, загрязненная вода была нейтральной со средним значением рН 6,96 (рН для загрязненной воды колеблется в большем диапазоне, чем для исходной воды). Изменения рН указывали на поступление фильтрата в грунтовые воды. Величина ЭП находилась в диапазоне от 94 до 1639 мкСм/см для исходных вод и от 116 до 13250 мкСм/см для загрязненных грунтовых вод. Значение ЭП имело тенденцию к увеличению при изменении направления потока, что свидетельствовало о влиянии мусорной свалки.

Содержание ООУ в исследованной воде составило в среднем 19,3 и 112,2 мг/дм<sup>3</sup> соответственно для исходной и загрязненной вод. Максимальное значение ООУ, зафиксированное за мусорной свалкой, достигало 616,6 мг/дм<sup>3</sup>, что указывало на сильно загрязненные стоки, попадающие в грунтовые воды в этой зоне.

Содержание ПАУ в пробах исходных вод колебалось от 0,00005 до 47,96 мг/дм<sup>3</sup>, при этом среднее значение составляло 3,29 мг/дм<sup>3</sup>; в пробах загрязненных вод – от 0,00005 до 96,02 мг/дм<sup>3</sup> со средним значением 2,78 мг/дм<sup>3</sup>. Уровни загрязнений исходных и грунтовых вод, в которых наблюдаются ароматические углеводороды, в определенных точках мусорной свалки совпадают.

Таблица 2. Основные статистические показатели для физико-химических характеристик исходных и загрязненных грунтовых вод

Параметр	Исходные воды					Загрязненные воды				
	Кол-во	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Кол-во	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
рН	32	6,76	5,7	7,5	0,500	95	6,96	5,4	7,8	0,475
ЭП, мСм/см	32	0,515	0,094	1,639	0,443	95	4,308	0,116	13,25	3,74
ООУ, мг/дм <sup>3</sup>	31	19,3	0,50	51,1	14,22	92	112,2	10,9	616,6	122,7
ПАУ, мкг/дм <sup>3</sup>	32	3,29	0,00	47,96	9,98	95	2,78	0,00	96,02	10,82
Сd, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,006	0,000	0,063	0,014	95	0,007	0,000	0,070	0,015
Pb, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,031	0,001	0,094	0,033	95	0,031	0,001	0,150	0,038
Zn, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,078	0,000	0,640	0,142	95	0,176	0,000	8,893	0,964
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,018	0,001	0,154	0,035	95	0,035	0,001	0,850	0,091
Cr, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,017	0,000	0,116	0,034	95	0,022	0,000	0,152	0,040
Hg, мг/дм <sup>3</sup>	32	0,001	0,001	0,010	0,002	95	0,001	0,000	0,012	0,002



Присутствие ПАУ в исследуемых водах может быть результатом смыва с поверхности дороги частиц асфальта, богатых ароматическими углеводородами, частиц автомобильных шин (при торможении транспортного средства), а также частиц пыли от выхлопных газов автомобилей с высокой концентрацией ПАУ. Дополнительным источником загрязнения, особенно в вытекающих со свалки грунтовых водах, может быть фильтрат, содержащий в отдельных ее точках  $> 50$  мг/дм<sup>3</sup> ПАУ.

Тяжелые металлы являются индикаторами антропогенного влияния, обусловленного различными источниками, такими, как отложения сухой золы, образующейся при работе мусоросжигательных установок, промышленные сточные воды, дорожные виды деятельности, дорожные сточные воды и фильтрат свалки. Поэтому мониторинг загрязнения тяжелыми металлами может быть важным фактором для оценки влияния мусорной свалки на качество грунтовых вод [18]. Химический анализ загрязненных грунтовых вод показывает, что их содержание снижается в таком порядке:  $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd > Hg$ . Подобная тенденция наблюдается и в случае исходных грунтовых вод, исключение составляют Pb и Cu, которые занимают соответственно второе и третье места. Концентрация Cd, Pb и Cr в загрязненных грунтовых водах превышает требования стандартов ВОЗ [21]. Поскольку концентрация этих металлов в исходных грунтовых водах также превышает нормативы, то источники загрязнения тяжелыми металлами следует искать за пределами мусорной свалки.

Из представленных данных следует, что вода, поступающая на территорию свалки, равно как и вода, вытекающая с территории свалки, не удовлетворяют требованиям стандартов ВОЗ [21] из-за высокой концентрации Cd, Pb и Cr. Более того, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что концентрация ПАУ в воде, поступающей на территорию свалки (3,29 мг/дм<sup>3</sup>), выше, чем в вытекающей воде (2,78 мг/дм<sup>3</sup>). Это подтверждает, насколько важно для оценки влияния мусорной свалки сравнивать качество вытекающих грунтовых вод с качеством поступающих грунтовых вод, что может быть обоснованием для использования предлагаемого показателя качества *WQI* для вод, находящихся в пределах зоны влияния свалки. Поэтому для дальнейшей оценки качества воды использовали модифицированный показатель *WQI*. В табл. 3 представлены его основные статистические данные для загрязненных грунтовых вод.

Таблица 3. Расчетные значения модифицированного показателя *WQI* для грунтовых вод, оказавшихся под воздействием мусорной свалки

Пункт наблюдений	Кол-во	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
P1	32	4,42	0,52	17,30	4,20
P2	31	9,12	1,49	46,12	11,064
P3	32	10,48	0,83	98,25	19,848

Наивысшие уровни *WQI* зафиксированы в пункте наблюдения P3; они изменялись в диапазоне от 0,83 до 98,25 со средним значением 10,48. Большое значение стандартного отклонения (19,38) свидетельствует о значительных колебаниях качества воды. Можно констатировать, что вода в этом месте сильно загрязнена в результате влияния мусорной свалки. Среднее значение показателя *WQI* в пункте наблюдения P2 также было высоким – 9,12, при этом минимальное значение составляло 1,49, а максимальное – 46,11. Высокое среднее значение показателя *WQI* свидетельствует о сильном влиянии мусорной свалки. Наиболее стабильное качество воды зафиксировано в пункте наблюдения P1, что подтверждалось самым малым значением стандартного отклонения (4,208). Значение *WQI* в случае P1 колебалось в диапазоне от 0,52 до 17,30 со средним значением 4,42, что также явно указывало на влияние мусорной свалки.

На рис. 2 показано общее распределение значений *WQI* в случаях P1, P2 и P3 с 2004 по 2011 г.г. Линейная функция тренда была наложена на все графики. Наблюдается тенденция к уменьшению *WQI* и улучшению качества воды, вытекающей со свалки в P1 и P2. Несмотря на то, что высокое значение *WQI* было зафиксировано в декабре 2010 и 2011 г.г., наклон линии тренда указывает на снижение *WQI* с течением времени. В случае P3 ситуация несколько иная. Здесь наблюдается увеличивающееся значение *WQI*, и линия тренда показывает его возрастание. Два максимальных значения *WQI* – 98,25 в июне 2007 г. и 63,00 в декабре 2010 г. – влияют на тренд наклона линии. Высокое значение *WQI* было обусловлено повышенной концентрацией цинка в июне (8,89 мг/дм<sup>3</sup>), а в декабре 2010 г. – повышенной концентрацией ПАУ (258 мг/дм<sup>3</sup>). В 2011 г. высокие значения *WQI* явились следствием

повышенной концентрации ПАУ (362 мг/дм<sup>3</sup> в сентябре и 369 мг/дм<sup>3</sup> в декабре) в исследуемой воде.

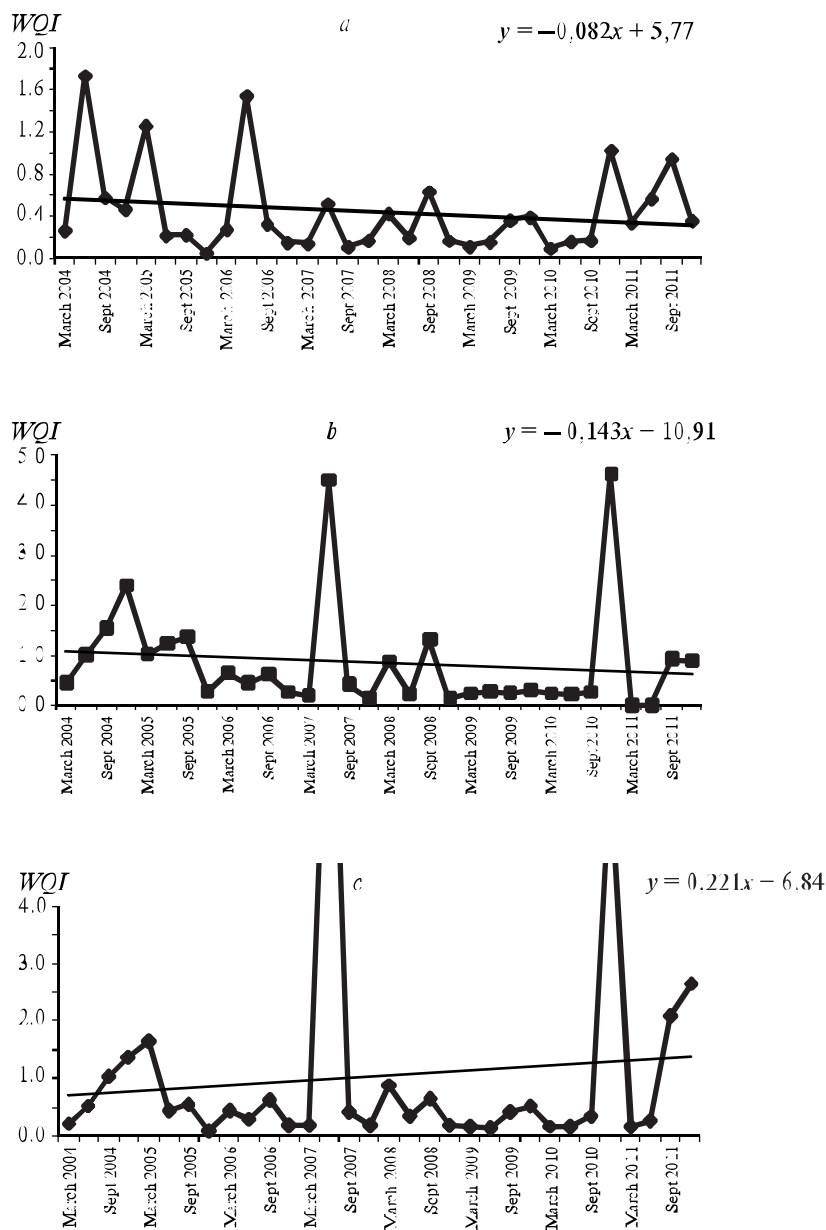


Рис. 2. Распределение значений WQI для загрязненных грунтовых вод в пунктах наблюдения P1 (a), P2 (b) и P3 (c) в течение периода исследований.

Использование дисперсионного анализа позволило проверить, дают ли качественные изменения WQI в разные времена года и измене-

ния, зафиксированные в отдельных пунктах наблюдения, какие-либо статистические результаты (рис. 3).

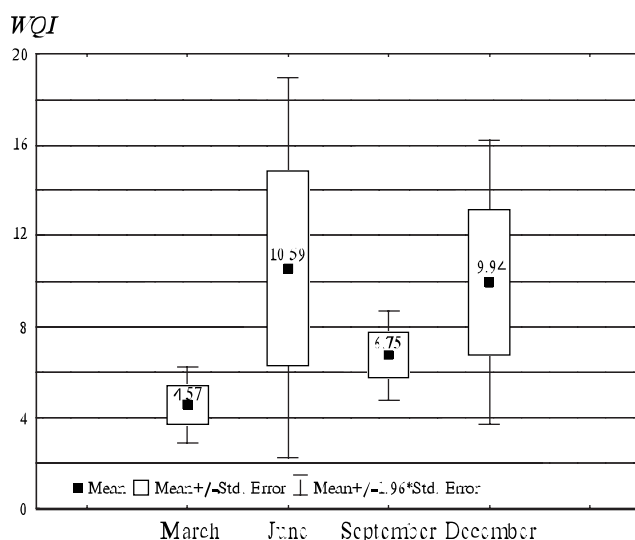


Рис. 3. Результаты дисперсионного анализа значений  $WQI$  для каждого времени года и каждого пункта наблюдений.

На рис. 3 показано, что наивысшие значения  $WQI$  зафиксированы летом (10,59). Это обусловлено температурой, которая активизирует ряд физико-химических преобразований, происходящих в воде, и активизирует процесс распада. Низкие значения  $WQI$  наблюдались зимой, а наиболее низкие – в марте, когда были зафиксированы самые низкие температуры воздуха во время отбора проб воды. Согласно данным табл. 4 и рис. 3 установлено, что сильно загрязненная вода зафиксирована в пунктах наблюдения P2 и P3. Средние значения  $WQI$  составляли 4,42 (P1), 9,12 (P2) и 10,48 (P3), а более высокие значения  $WQI$  сопровождалось большим разбросом результатов.

**Выводы.** Полученные данные показывают, что качество грунтовых вод зависит от близости мусорной свалки. Значения ЭП, концентрации Zn, Cu, Hg и ООУ в воде, протекающей позади мусорной свалки, были выше, чем в воде, поступающей на территорию свалки. Содержание Cd, Pb и Cr и значение pH оставались примерно на одном уровне. Анализ качества воды свидетельствует, что вода, поступающая на территорию мусорной свалки, уже загрязнена. В пункте отбора проб P4, принятом в качестве базового, концентрация ПАУ была выше, чем в P1, P2 и P3, которые находились в пределах зоны воздействия мусорной свалки. На

значение *WQI*, рассчитанное на основе полученных данных, в случаях P2 и P3, расположенных на юго-восточной стороне мусорной свалки, последняя оказывала сильнейшее влияние. Как было установлено, соответствующие значения *WQI* составляли 9,12 и 10,48. Для P1 значение *WQI* достигло 4,42. Распределение значений *WQI* по годам показало, что они в случае P1 и P2 стабилизируются постепенно. Наклон линии тренда составил соответственно  $a = -0,08$  и  $a = -0,14$ . Значение *WQI* в случае P3 свидетельствовало о возрастающем тренде, и наклон линии тренда составил  $a = 0,22$ . Наивысшие значения *WQI* были зафиксированы в летние месяцы (среднее значение за июнь – 10,59), и это происходило в результате интенсификации физико-химических процессов, обусловленных более высокой температурой.

Использование модифицированного показателя *WQI* позволяет оценить влияние мусорной свалки на качество грунтовых вод. Более того, эти результаты предоставляют информацию, которую нельзя получить при традиционном анализе отдельных параметров загрязнения. Применение *WQI* может быть важным информационным инструментом для чиновников, принимающих решение о размещении свалок, и общественности для получения сведений об угрозе загрязнения грунтовых вод мусорными свалками.

**Резюме.** Досліджено рівень забруднення ґрунтових вод поблизу міського сміттевого звалища. Для визначення зміни якості ґрунтових вод використали модифікований показник *WQI*. Проаналізовані 127 проб ґрунтових вод для визначення наступних параметрів: рН, електропровідність, поліциклічні ароматичні вуглеводні, загальний органічний вуглець, Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Hg. Середні значення *WQI* для витікаючого потоку ґрунтових вод з території звалища склали 8,01. Найбільш забруднена вода була зафіксована в пунктах спостереження P2 і P3, розташованих на сході від межі звалища, де значення *WQI* склали відповідно до 9,12 і 10,48. Значення *WQI* у разі P1, який розташовувався на північному заході від звалища, досягало рівня 4,41. Найвище значення *WQI* в дослідженій воді було зафіксоване влітку (середнє значення – 10,59), а найнижче – у березні (середнє значення – 4,57). Рівняння лінії тренду вказує на тенденцію до стабілізації якості води у разі P1 і P2.

*I.A. Talalaj*

## ADAPTATION OF WATER QUALITY INDEX (WQI) FOR GROUND- WATER QUALITY ASSESSMENT NEAR THE LANDFILL SITE

### Summary

In this paper the level of groundwater contamination near the municipal landfill site is examined. A modified *WQI* was used to determine the change in groundwater quality. A total of 127 groundwater samples were analyzed for pH, EC, PAH, TOC, Pb, Cu, Cd, Cr, Zn, Hg. The mean value of the *WQI* for groundwater outflow from the landfill was 8.01, which means a very high landfill impact. Most contaminated water was in piezometers P2 and P3 located to the east from the landfill border with the *WQI* value of 9.12 and 10.48, respectively. The *WQI* in the P1 piezometer, situated to the north-west of the landfill reached the value of 4.41. The highest *WQI* value in analyzed water was recorded in summer (mean – 10.59); the lowest in March (mean – 4.57). The trend line equation point to a stabilizing water quality in P1 and P2 and a growing trend in P3.

### Список использованной литературы

- [1] *Mor S., Ravindra K., Dahiya R.P., Chandra A. // Environ. Monit. Assess. – 2006. – 118. – P. 435–456.*
- [2] *Bocanegra E., Massone H., Martinez D., Civit E., Farenga, M. // Environ Geol.– 2000. – 40, N6. – P. 732–741.*
- [3] *Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L. Christensen B.J., Baun A., Albrechtsen H., Heron G. // Appl. Geochem. – 2001. – 16. – P. 659–718.*
- [4] *Fatta D., Papadopoulos A., Loizidiu M. // Environ. Geochem. Health. – 1999. – 21, N2. –P. 171–190.*
- [5] *Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T. // Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. – 2002. – 32, N4.– P. 297–336.*
- [6] *Li Y., Li J., Chen S., Diao W. // Environ. Pol. – 2012. – 165. – P. 77–90.*
- [7] *Gibrilla A., Bam E.K.P., Adomako D., Ganyaglo S., Osae S., Akiti T.T., Kebede S., Achoribo E., Ahiale E., Ayanu G., Agyeman E.K. //Water Quality Exposure and Health. – 2011. – 3. – P. 63–78.*

- [8] *Vasanthavigar M., Srinivasamoorthy K., Vijayaragavan K., Rajiv Ganthi R., Chidambaram S., Anandhan P., Manivannan R., Vasudevan S. // Environ. Monit. Assess. – 2010. – 171. – P. 595–609.*
- [9] *Longe E.O., Balogun M.R. // Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. – 2010. – 2, N1. – P. 39–44.*
- [10] *Abu-Rukach Y., Al-Kofahi O. // J. Arid Environ. – 2001 – 49. – P. 615–630.*
- [11] *Loizidou M., Kapetanios E. // Sci. Total. Environ. – 1993. – 128 – P. 69–81.*
- [12] *Christensen T.H., Kjeldsen P., Albrechtsen H-J., Heron G., Nielsen P.H. Bjerg, P.L., Holm P.E. // Cril. Rev. Environ. Sci. Technol. – 1994. – 24. – P. 119–202.*
- [13] *Bhalla G., Swamee P.K., Kumar A., Bansal A. // Int. J. Environ. Sci. – 2012. – 2, N2. – P. 1492–1503.*
- [14] *Calvo F., Moreno B., Zamorano M., Szanto M. // Waste Manage. – 2005. – 25. – P. 768–779.*
- [15] *Kumar D., Alappat B.J. // Clean Technol. Environ. – 2005. – 7. – P. 190–197.*
- [16] *Journal of Laws PL 2002.220.1858 from 9th December 2002 concerning landfill monitoring.*
- [17] *Jones-Lee A., Lee G.F. // 4th Sardinia Int. Landfill Symp. (Italy, 1993).*
- [18] *Singh K.U., Kumar M., Chauhan, R., Jha P.K., Ramanathan A.L., Subramanian V. // Environ. Monit. Assess. – 2008. – 141. – P. 309–321.*
- [19] *Oman C.B., Junestedt C. // Waste Manage. – 2008. – 28. – P. 1876–1891.*
- [20] *Flyhammar P.J. // J. Environ. Qual. – 1995. – 24. – P. 612–621.*
- [21] *WHO World health organisation quidelines for drinking water quality 4rd edn. Voll. Geneva. ISBN 978 92 4 154815 1, 2011.*

Received 11.02.2013