

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ВПЛИВУ МІСЬ ЗБЕРІГАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

А. В. Яцишин¹, О. О. Попов¹, В. О. Артемчук², В. О. Ковач³, І. П. Каменева²¹ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна²Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України, Київ, Україна³Навчально – науковий інститут неперервної освіти Національного авіаційного університету, Київ, Україна

УДК 519.6 : 504.064

DOI: 10.5281/zenodo.3558966

Отримано: 16 вересня 2019

Прийнято: 28 жовтня 2019

Cite as: Iatsyshyn A., Popov O., Artemchuk V., Kovach V., Kameneva I. (2019). Analysis of the modern mathematical means of assessment of the influence of storage sites of ash-slag waste heat power on the ecological state of the adjacent territories. *Technogenic and ecological safety*, 6(2/2019), 24–29. doi: 10.5281/zenodo.3558966

Анотація:

Дана робота присвячена проблемі впливу місць зберігання золошлакових відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на навколишнє природне середовище. Описано процеси, які протікають в золошлаковідвалах, а саме: випаровування води з формуванням на території сухих ділянок із пиловими частинками золошлакових відходів під дією вітру та інфільтрація води (освітленої або навіть частково неочищеної) і попадання розчинених форм токсичних компонентів золошлаків в ґрунтові води і водойми, що знаходяться за їх межами.

Досліджено особливості перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу золошлаковідвалу. Визначено процеси та явища, які спостерігаються під час перенесення розчинених речовин у ґрунті. Описано складові процеси вітрової ерозії та механізми впливу на частинки, що знаходяться на поверхні шару території золошлаковідвалу. Перераховано фактори, що визначають еродованість золошлаковідвалу як площадкового об'єкту.

Описано математичну модель міграції забруднюючих речовин у ґрунтах, яка складається з системи диференціальних рівнянь у частинних похідних другого порядку зі змінними коефіцієнтами. Наведено аналітичний розв'язок цих рівнянь при певних спрощеннях для випадку двовимірного потоку, коли водоносний горизонт можна вважати горизонтальним, одношаровим і однорідним. Розглянуто двовимірну модель міграції розчинених компонентів, що враховує градієнт рельєфу як основну причину руху води в поверхневих шарах ґрунту. Наведено ряд формул, що дозволяють оцінити викиди золових частинок в атмосферу за межі санітарно-захисної зони золошлаковідвалу, твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу, а також орієнтовну ширину пилової хмари.

Отримані результати будуть використані при розробці програмних засобів для визначення впливу місця зберігання відходів теплоенергетики на довкілля та населення прилеглих територій.

Ключові слова: золошлаковідвал, золошлакові відходи, модель міграції, забруднення довкілля.

1. Вступ

Золовідвали підприємств паливно-енергетичного комплексу (ППЕК) - це спеціальні, призначені для зберігання золошлакових відходів, гідротехнічні споруди, територія яких обмежена огорожувальними дамбами і рельєфом місцевості. У золовідвалах постійно протікають два процеси. Перший з них - це випаровування води з формуванням на території золовідвалу так званих "пляжів" - сухих ділянок із пиловими частинками золошлакових відходів, що утворюються під дією вітру. Другий процес - інфільтрація води (освітленої або навіть частково неочищеної) і попадання розчинених форм токсичних компонентів золошлаків в ґрунтові води і водойми, що знаходяться за межами золовідвалів. Шкідливі речовини, що входять до складу золошлаків можуть мігрувати з поверхні золовідвалу через повітряне і водне середовища та забруднювати приземний шар атмосфери, ґрунт, підземні і поверхневі води районів, що розташовані на відстані до декількох кілометрів від накопичувача відходів. Поширюючись в подальшому за різними трофічними ланцюгами, токсичні речовини, що містяться в золошлакових відходах, можуть

викликати деградацію біосистеми (рослинного і тваринного світу, гідробіонтів) та негативно впливати на здоров'я людини (через воду, повітря, їжу) [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Великий внесок в розвиток теорії фільтрації забезпечують роботи К.С. Баснієва, М. Маскета, Е. Шейдеггера, В.Л. Данилова, В.Н. Ніколаєвського, М.Д. Розенберга, Е. Сеттарі, Є.С. Ромма, М.І. Швидлера, Д.А. Ефроса тощо. Заслужують уваги роботи М.М. Веригина, А.В. Шибанова, Б.С. Шержукова, В.І. Лаврика, А.П. Олійника, В.М. Шестакова та ін. щодо перенесення забруднювачів у ґрунтах, підземних водах та приземному шарі повітря.

Проblems впливу ППЕК на стан природного навколишнього середовища присвячені наукові дослідження багатьох вчених. Зокрема, у роботі [2] показано вплив золовідвалу Трипільської теплової електростанції на здоров'я населення, що проживає на прилеглих територіях, в публікації [1] розглянуто особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє природне

середовище. Дослідження [3] присвячено питанням розповсюдження важких металів у ґрунтах від викидів теплової електростанції, в [4] здійснений аналіз моніторингових даних та оцінено стан підземних вод в районі впливу Сумської теплоелектроцентральної. Авторами роботи [5] виконано аналіз шкідливих викидів Бурштинської теплової електростанції та екологічної ситуації навколо неї. Розробки щодо створення обладнання для вимірювання параметрів якості довкілля описано в [6, 7]. Деякі питання побудови відповідних математичних і програмних засобів для оцінювання впливу ППЕК на економічну складову нашої держави та навколишнє природне середовище висвітлено у роботах [8–18].

Однак слід зазначити, що в наведених роботах не достатньо висвітлені питання щодо перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу ППЕК, а особливо в зонах золошлаковідвалів, дослідження яких є необхідним етапом побудови відповідних математичних моделей процесу міграції забруднюючих речовин у природному середовищі в межах зон золошлаковідвалів та прилеглих територій.

Саме цим визначається необхідність проведення досліджень в даному напрямку. Знаючи особливості механізмів, які визначають рух забруднюючих речовин у всіх складових екосистемі можна створювати адекватні математичні моделі, що в свою чергу дасть можливість отримувати відповідні оцінки рівнів забруднення в ґрунтах, підземних водах та в атмосферному повітрі тощо.

3. Мета та задачі дослідження

Дослідження проводилося з метою проаналізувати існуючі математичні засоби оцінки впливу місць зберігання відходів теплоенергетики на довкілля прилеглих територій для їх подальшого розвитку і створення відповідних програмних засобів.

В рамках поставленої мети запропоновано вирішити наступні задачі:

1. Визначити особливості перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу ППЕК.
2. Проаналізувати ряд математичних моделей міграції забруднюючих речовин у ґрунтах, воді та в приземному шарі повітря на територіях впливу золошлаковідвалів.

4. Матеріали та методи досліджень

Виконання даного дослідження проводилось в основному на публікаціях провідних вітчизняних вчених щодо математичних засобів оцінки впливу місць зберігання відходів теплоенергетики на довкілля прилеглих територій.

У даному дослідженні було використано наступні методи: метод порівняльного аналізу; аналіз досвіду щодо впливу золошлакових відходів; методи моніторингу, моделювання та оцінювання впливу місць зберігання золошлакових відходів на навколишнє середовище та населення.

5. Результати досліджень Особливості перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу ППЕК

Перенесення забруднюючих речовин у підземні води відбувається із зони аерації ППЕК, території промайданчика та ділянки золошлаковідвалу. Тому дослідження міграції забруднюючих речовин відрізняється при описі процесу в зоні аерації та в зоні впливу золошлаковідвалу.

У зоні аерації теплових електростанцій відбувається інфільтрація забруднюючих речовин, які, осідаючи з відхідних газів на поверхню ґрунту, переносяться вниз по профілю з опадами та талою водою. Швидкість перенесення забруднюючих речовин буде залежати від кількості опадів, що впливатиме на водонасичення ґрунту, та температури навколишнього середовища, що впливатиме на випаровування вологи з поверхневих шарів ґрунту. З тіла золошлаковідвалу перенесення забруднюючих речовин буде здійснюватись у водонасиченому ґрунті за рахунок фільтрації. Під час перенесення розчинених речовин у ґрунті виявлено ряд особливостей [4]:

- немає чіткої межі між розчином, який потрапляє у ґрунт та ґрунтовою вологою, тому відбувається «розмив» фронту розчину забруднювача;
- відбувається безперервне перемішування розчину та ґрунтової вологи, у результаті чого утворюється розширена зона дисперсії;
- процес перемішування або «розмиву» фронту розчину забруднених стоків тим сильніше, чим вища швидкість потоку та більші пори ґрунту.

На перенесення розчинених речовин у ґрунті впливають: дифузія, конвекція, дисперсія, фізико-хімічні та біологічні процеси, такі, як іонний обмін, радіоактивний розпад, сорбція, розкладання бактеріями тощо.

У сухі періоди року більшість золошлаковідвалів можуть бути джерелом інтенсивного запилення в результаті вітрового впливу. Вітрова ерозія золошлакових полів визначається характером та інтенсивністю впливу вітрового потоку, властивостями складованого матеріалу, технологією складування, а також конструкцією об'єкта. Виділяють три складових процесу вітрової ерозії, а саме: відрив і зліт частинок з поверхні; переміщення частинок в запиленому потоці над поверхнею золошлакового поля та розсіювання золових еродованих частинок за межами золошлаковідвалу після сходу пилової хмари з дамби [19].

Вплив повітряного потоку на кожен окрему частинку на поверхні шару на території золошлаковідвалу пов'язаний з декількома одночасно діючими механізмами. Це і лобовий аеродинамічний тиск, що спонукає до зрушення у напрямку вітру уздовж поверхні, перепад статичного тиску, що виникає при обтіканні частинки і створює підйомну силу, та турбулентна дифузія в вітровому потоці, що створює змінні пульсуючі за розміром і напрямком впливи на частинку й ослаблює гравітаційні і адгезійні зв'язки частинки з поверхнею шару.

На території золошлаковідвалу можна виділити три можливі зони запилення: сухі пляжі на золошлакових полях; дамби, складені з золошлаків (неприсипаних); відкладення пилу в аеродинамічній тіні дамби (вторинне запилення).

Варто також зазначити, що еродованість золошлаковідвалу визначається наступними факторами:

- захищеністю об'єкта від вітрового впливу рельєфом прилеглої місцевості;
- конструкцією об'єкта, тобто наявністю і висотою огорожувальних конструкцій (дамби, захисні стінки, лісопосадки по периметру золовідвалу);
- експлуатаційними характеристиками – рівнем поверхні шару щодо дамби, навколишньої

території, площею сухих пляжів.

Математичні моделі міграції забруднюючих речовин у ґрунтах

Математична модель міграції [4], тобто масопереносу розчинених речовин, у фільтраційних потоках неконсервативних забруднюючих речовин описує взаємодію між ґрунтами та стічними водами, які фільтруються, за допомогою рівнянь матеріального балансу і рівняння кінетики. Вона складається з системи диференціальних рівнянь у частинних похідних другого порядку зі змінними коефіцієнтами, яка у випадку тривимірної плоско-вертикальної (профільної) сталої фільтрації за умови сталості коефіцієнта конвективної дифузії має такий вигляд (1)–(3):

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \tag{1}$$

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \tag{2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \alpha(\sigma c - \beta N), \tag{3}$$

де $v = \{v_x, v_y, v_z\}$ – вектор швидкості фільтрації, м/добу; $\varphi(x, y, z, t)$ – потенціал фільтрації, м³/добу; $c(x, y, z, t)$ і $N(x, y, z, t)$ – концентрація речовини, що дифундує, відповідно в рідкій і твердій фазах, кг/м³; D – коефіцієнт конвективної дифузії, м²/добу; σ – пористість середовища, %; t – час, доба; α – коефіцієнт масообміну, с⁻¹; β – коефіцієнт розподілу речовини між фазами в умовах рівноваги по лінійній ізотермі Генрі, що виражається рівністю $c_p = \beta N$.

Для спрощення системи рівнянь шляхом усереднення тих речовин, які шукаються, (концентрації, швидкості фільтрації та ін.) необхідно зменшувати розмірність системи за однією або декількома просторовими координатами. Вертикальне усереднення за координатою z спрощує рівняння до двовимірної профільної моделі, яка дає можливість оцінити поширення стічних вод вглиб ґрунтового шару.

У випадку вертикальної фільтрації рівняння (4)–(6) запишуться у вигляді [20]:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0; v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \varphi = -\chi h; h = \frac{p}{\rho g} - y, \tag{4}$$

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \tag{5}$$

$$c(x, y, t_0) = c_0(x, y); c(x, y, t) \Big|_{x=y_1} = c_0(y, t); \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{z=L} = 0, \tag{6}$$

де χ – коефіцієнт фільтрації, м/добу; h – напір (вісь Oy спрямована вертикально вниз), м; p – тиск, Па; ρ – щільність, кг/м³; g – прискорення сили тяжіння, м²/с.

У роботі [21] показано аналітичне рішення у випадку двовимірного потоку, коли водоносний горизонт горизонтальний, одношаровий та однорідний. Швидкість руху води вважається постійною і паралельною осі Ox , а коефіцієнти дифузії постійні і пропорційні швидкості. Запускається забруднювач з концентрацією c_0 і витратою Q у джерелі. За період dt маса запущеного забруднювача буде $c_0 Q dt$. Початкова концентрація дорівнює нулю. Область не обмежена, а концентрація на нескінченності дорівнює нулю. Рівняння, що описує цей процес, має вигляд:

$$\alpha_L u \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \alpha_T u \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t}, \tag{7}$$

де α_L та α_T – структурні параметри, що залежать від виду ґрунту, проникності та консолідації.

Для безперервного надходження стічних вод при витраті Q розв'язок цього рівняння для моменту часу t буде мати вигляд:

$$c(x, y, t) = \frac{c_0 Q}{2\pi u \sqrt{\alpha_L \alpha_T}} \int_0^t \exp \left[\frac{(x-u\theta)^2}{4\alpha_L u \theta} - \frac{y^2}{4\alpha_T u \theta} \right] \frac{d\theta}{\theta}. \tag{8}$$

У роботі [22] запропонована двовимірна модель міграції розчинних компонентів, що враховує градієнт рельєфу як основну причину руху води в

поверхневих шарах ґрунту непромивного або періодично промивного типу:

$$C = C_0 + \frac{C_p - C_0}{Be} [1 - \exp(-Bkt)] \exp\left(-\frac{k}{e_1} \tau\right), \quad (9)$$

де C – усереднена концентрація забруднення в ґрунтовому розчині інфільтраційного шару, мг/м³; C_0 , C_p – початкові концентрації забруднення відповідно в інфільтраційному потоці та застійних зонах ґрунту, мг/м³; $B = 1/e + 1/e_1$ – структурний параметр ґрунту; e , e_1 – відносні об'єми проточних і застійних зон; k – коефіцієнт масовіддачі, м/с; t – інтегральний час просування концентраційного фронту забруднення від вододілу до контрольної точки, с; τ – інтегральний час випадання опадів за контрольний період, с.

Оцінка викидів золових частинок з золошлаковідвалу в атмосферу за межі санітарно-захисної зони

Викид золових частинок в атмосферу за межі санітарно-захисної зони золошлаковідвалу визначають за формулою [19], т/рік:

$$M_B = M_E \cdot \left(\frac{1 - [\mu_0 - \mu_{ГР.СЗЗ}]}{\mu_0} \right), \quad (10)$$

де M_E – річний винос золових частинок по кожному напрямку вітру; μ_0 – початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби; $\mu_{ГР.СЗЗ}$ – запиленість на зовнішньому кордоні санітарно-захисної зони, що визначається інструментальними вимірами або розраховується за формулою.

Інтенсивність вітрової ерозії поверхні залежить від способу формування шару. Для намитого шару золошлаковідвалу вона є на порядок нижчою, ніж для насипного та неуцільненого шару. Це вказує на істотну відмінність умов запилення сухих свіжонамитих ділянок і зон вторинного запилення, поверхня яких утворюється відкладеними еродованими частинками.

Перенесення золових частинок, що надходять в атмосферу з відкритої поверхні золошлаковідвалу та підстилаючої поверхні в прилеглий зоні здійснюється згідно з іншим механізмом, ніж процеси розсіювання в атмосфері твердих частинок з димовими газами теплових електростанцій і твердофазних випадін з димового факела.

Приземна концентрація частинок пилу на відстані X від дамби з урахуванням фонового забруднення визначається за формулою:

$$\mu_X^{ФОН} = \mu^{ФОН} + \mu_0 \cdot e^{-\alpha \cdot X}, \quad (11)$$

де $\mu^{ФОН}$ – фонові запиленість, мг/м³ $\approx 0,3$; X – відстань від дамби по осі запилення, м (10, 50, 100, 250, 500, 1000).

Початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби (мг/м³), визначається за формулою:

$$\mu_0 = \frac{M_{EP}}{L_{П} \cdot h_0 \cdot U_{EФ}} \quad (12)$$

де $L_{П}$ – політ сальтованої частинки над золошлаковим полем (ширина пилової хмари), м;

h_0 – висота пилової хмари на дамбі, м та знаходиться за формулою:

$$h_0 = 2 \cdot h, \quad (13)$$

де h – висота підйому еродованих частинок (не враховуючи можливого впливу висхідних повітряних потоків і турбулентних великомасштабних вихрових утворень).

Ділянка безпосередньо перед огорожувальною дамбою, сама дамба, її низовий укіс, дренажні та нагірні канали в межах відвалу і санітарно-захисна зона з природними і штучними пилоосаджувальними лісосмугами є зоною знепилювання вітрового потоку, в якій діють гравітаційні сили й турбулентна дифузія.

Швидкість повітряного потоку визначає не тільки інтенсивність здування золових частинок з поверхні золошлаковідвалу (питома здуваемість з одиниці поверхні), але також протяжність фронту запилення (в результаті залучення в процес вітрової ерозії нових місць запилення, розосереджених по поверхні відвалу) та висоту пилової хмари, що формується над золошлаковим полем.

При швидкості вітру на рівні флюгера, близької до $U_{КР}$ (швидкість вітру, при якій починається здув золових частинок) запилення носить локальний характер. При збільшенні швидкості вітру зберігається осередкований характер запилення, вузькі шлейфи запиленого вітроповітряного потоку переносяться через дамбу. При швидкості вітру, що досягає 6,8 м/с, що відповідає максимальній швидкості вітру U_{max} з повторюваністю 5 %, фронт запилення (ширина пилової хмари $L_{П}$) зростає до 0,5 від протяжності дамби $L_{Д}$. Орієнтовно ширина пилової хмари може бути визначена за формулою [19]:

$$L_{П} = 0,5 \cdot L_{Д} \cdot \frac{(U_{Z} - U_{КР})}{(U_{max} - U_{КР})}, \quad (14)$$

де $L_{Д}$ – довжина дамби, м.

У цьому ж діапазоні значень швидкостей вітру верхня межа пилової хмари, що переміщується над поверхнею золошлакового поля, змінюється від 0,2 до 3 м.

При $U_Z > U_{КР}$ запилення може охопити поверхню всіх потенційно запилених ділянок сухого пляжу (до 20 % площі сухого пляжу), а схід пилової хмари відбуватиметься по всій довжині греблі, виключаючи ділянку, що екранована відстійним ставком.

Викиди твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу

Розрахунок викидів твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу пропонується розраховувати за наступною формулою [19], г/с:

$$M_{зд} = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S \cdot W \cdot j \cdot (365 - T), \quad (15)$$

де K_0 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу 0,1...1,0;

K_1 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру 2...0,5;

K_2 – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок 0,1...1,0;

S – площа поверхні, на якій відбувається запылення, м²;

W – питома здуваємість твердих частинок з запыленої поверхні кг/м²;

j – коефіцієнт подрібнення гірської маси 0,1...1,0;

T – річна кількість днів з стійким сніговим покривом.

6. Обговорення результатів

Математичні моделі міграції забруднюючих речовин у ґрунтах повинні формуватися з урахуванням: типу стічних вод, властивостей домішок, які знаходяться в них і можуть взаємодіяти з частинками ґрунтів; характеристик ґрунтів, тобто породи, структури, форми пор і тріщин ґрунту, а також присутності вологи в його складі; процесів взаємодії між ними. Але при розв'язанні систем рівнянь виникає ряд труднощів, пов'язаних з їх складністю.

Тому для зменшення розмірності моделі (1)–(3) запропоновано усереднювати шукані величини (концентрації, швидкості тощо) по одній або двом просторовим координатам, що надало можливість отримати аналітичну залежність (8). Такі спрощення зменшують точність моделей та збільшують похибки обчислень.

Перенесення золених частинок, що надходять в атмосферу з відкритої поверхні золовідвалу та підстилаючої поверхні в прилеглій зоні, здійснюється згідно з іншим механізмом, ніж процеси розсіювання в атмосфері від точкових стаціонарних джерел забруднення ППЕК. При

відсутності спеціальної апаратури запропоновані в публікації формули (10), (14), (15), що засновані на певній фізичній моделі процесу вітрової ерозії, дають змогу оцінити вплив золошлаковідвалу на приземний шар повітря.

7. Висновки

Вивчення і прогнозування стану окремих складових навколишнього природного середовища в умовах техногенного навантаження є одним з найважливіших завдань сучасних екологічних досліджень.

В результаті проведених досліджень встановлено особливості перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу підприємств паливно-енергетичного комплексу, що забезпечує можливість математичного моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах та в приземному шарі повітря золошлаковідвалів.

Запропоновано та проаналізовано ряд математичних моделей для дослідження процесу міграції забруднюючих речовин в межах зон золошлаковідвалів та прилеглих територій.

Наведені засоби можуть бути корисними при розробці заходів щодо зменшення забруднення довкілля підприємствами паливно-енергетичного комплексу. Їх можна рекомендувати проектним організаціям при розробці прогнозних оцінок впливу нових золошлаковідвалів, а також контролюючим органам для оцінки забруднення й підвищення ефективності природоохоронної діяльності енергетичних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яцишин А.В., Матвеева І.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Каменева І.П. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2018. № 2 (28). С. 57-68. doi: 10.5281/zenodo.2594489
2. Звіт. «Дослідження та гігієнічна оцінка вливу господарської діяльності Трипільської ТЕС, що входить до складу ПАТ «Центрэнерго», на забруднення навколишнього природного середовища та умови проживання населення територій Обухівського району Київської області. Київ. 2016. 38 с.
3. Левченко А.С., Ігнатенко М.І., Хоботова Е.Б. Забруднення важкими металами ґрунтів поблизу теплових електростанцій. URL: <http://en.ice.kpi.ua/files/2013/%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%853.pdf>
4. М'якаєва Г.М. Моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу. Дис. кандидата технічних наук, Сумський державний університет. Суми. 2018.
5. Крижанівський С.І., Кошляк Г.В. Екологічні проблеми енергетики // Нафтогазова енергетика. 2016. № 1(25). С. 80-90.
6. Zaporozhets, A.O., Redko, O.O., Babak, V.P., Eremenko, V.S., Mokiychuk, V.M. Method of indirect measurement of oxygen concentration in the air. Scientific Bulletin of National Mining University, 2018, №5, pp. 105-144. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/14
7. Zaporozhets, A., Eremenko, V., Serhiienko, R., Ivanov, S. Methods and Hardware for Diagnosing Thermal Power Equipment Based on Smart Grid Technology, Advances in Intelligent Systems and Computing III, 2019, Vol. 871, pp. 476-492. doi: 10.1007/978-3-030-01069-0_34
8. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., Артемчук В.О., Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря // Електронне моделювання. 2019. № 4(41). С. 85-101.
9. Артемчук В.О. та ін., Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики. Київ, Україна: ТОВ «Наш формат», 2017.
10. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.А., Тарадуда Д.В., Собина В.А., Соколов Д.Л., Демент М.А., Яцишин Т.М., Матвеева І.В. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. Ядерна та радіаційна безпека. 2019. 1(81). С. 75—80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13.
11. Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р. Методи та засоби врахування факторів енергетичної безпеки в економіко-математичній моделі паливозабезпечення країни // Проблеми загальної енергетики. 2012. № 4. с. 38-45.
12. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.А., Тарадуда Д.В., Собина В.А., Соколов Д.Л., Демент М.А., Яцишин Т.М. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. Ядерна та радіаційна безпека. 2018. № 3(79). С. 56—65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09.
13. Артемчук В.О. Математичні та комп'ютерні засоби для вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря. Дис. кандидата технічних наук. ШМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. Київ. 2011.
14. Шкіца Л.С., Яцишин Т.М., Попов О.О. Математичне моделювання забруднення приземного шару атмосфери парами бурового розчину // Науковий вісник ІФНТУНГ. 2012. № 3(33).
15. Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р. Економіко-математична модель імпортування вугілля в Україну // Проблеми загальної енергетики. 2012. № 1. С. 29-34.
16. Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р. Особливості моделі виробничого типу системи паливозабезпечення для розрахунку перспективних обсягів заміщення видів палива в економіці країни // Проблеми загальної енергетики. 2012. № 3. С. 30-36.

17. Яцишин А.В., Попов О.О., Ковач В.О., Артемчук В.А. Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методами і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери // Інформаційні технології і засоби навчання. 2018. № 4(66). С. 217–230.
18. Kovach V. Toxic Soil Contamination and Its Mitigation in Ukraine / V. Kovach, G. Lysychenko // Soil Science Working for a Living. – Cham: Springer, 2017. – P. 191–201. doi: 10.1007/978-3-319-45417-7_18
19. Комонов С.В., Комонова Е.Н. Ветровая эрозия и пылеподавление. Курс лекций. Красноярск: Изд. СФУ. 2008. 192 с.
20. Бойко Т.В., Абрамова А.О., Запорожець Ю.А. Математичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах // Восточно-Европейський журнал передових технологій. 2013. № 6(4). С. 14-16.
21. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. Москва, 1981. 304 с.
22. Шандиба О.Б., Варламов М.К., Мартиненко О.П., Борозенець Н.С. Екологічний моніторинг міграції хімічних речовин на забруднених територіях. Вісник СДАУ, серія «Механізація та автоматизація технологічних процесів». 2000. №5. С. 69–71.

Iatsyshyn A., Popov O., Artemchuk V., Kovach V., Kameneva I.

ANALYSIS OF THE MODERN MATHEMATICAL MEANS OF ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF STORAGE SITES OF ASH-SLAG WASTE HEAT POWER ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE ADJACENT TERRITORIES

This work is devoted to the problem of the influence of storage sites of ash-slag waste of fuel and energy complex enterprises on the environment. The processes occurring in the ash dumps are described, namely: evaporation of water with formation in the territory of dry areas with dust particles of ash-slag waste under the action of wind and infiltration of water (illuminated or even partially untreated) and ingress of dissolved forms of water and slugs of ash and slugs beyond.

The peculiarities of the transfer of pollutants in the area of impact of ash dump are investigated. The processes and phenomena observed during the transfer of dissolved substances into the soil are identified. The components of the process of wind erosion and the mechanisms of influence on the particles located on the surface of the layer of the territory of the ash dump are described. The factors that determine the erosion of the ash dump as a site object are listed.

A mathematical model of migration of contaminants in soils is described, which consists of a system of differential equations in second-order partial derivatives with variable coefficients. An analytical solution of these equations with certain simplifications is given for the case of two-dimensional flow, where the aquifer can be considered horizontal, single-layer and homogeneous. A two-dimensional model of migration of soluble components is considered, which takes into account the relief gradient as the main cause of water movement in the surface layers of soil. A number of formulas are presented that allow estimating the emission of ash particles into the atmosphere beyond the sanitary zone of the ash dump, solids blown away from the ash dump surface, as well as the approximate width of the dust cloud.

The results obtained will be used in the development of software to determine the impact of the storage site of waste heat on the environment and the population of the surrounding areas.

Key words: ash-slag dump, ash-slag waste, migration model, environmental pollution.

Яцишин А.В., Попов А.А., Артемчук В.А., Ковач В.О., Каменева И.П.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕСТ ХРАНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Данная работа посвящена проблеме влияния мест хранения золошлаковых отходов предприятий топливно-энергетического комплекса на окружающую среду. Описаны процессы, протекающие в золошлакоотвалах, а именно: испарение воды с формированием на территории сухих участков с пылевыми частицами золошлаковых отходов под действием ветра и инфильтрация воды (освещенной или даже частично неочищенной) и попадания растворенных форм токсичных компонентов золошлаков в грунтовые воды и водоемы, находящихся за их пределами.

Исследованы особенности переноса загрязняющих веществ в зоне влияния золошлакоотвала. Выявлены процессы и явления, которые наблюдаются во время переноса растворенных веществ в почве. Описаны составляющие процесса ветровой эрозии и механизмы воздействия на частицы, которые находятся на поверхности слоя территории золошлакоотвала. Перечислены факторы, определяющие эродированность золошлакоотвала как площадного объекта.

Описана математическая модель миграции загрязняющих веществ в почвах, которая состоит из системы дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка с переменными коэффициентами. Приведено аналитическое решение этих уравнений при определенных упрощениях для случая двумерного потока, когда водоносный горизонт можно считать горизонтальным, однослойным и однородным. Рассмотрена двумерная модель миграции растворимых компонентов, учитывающая градиент рельефа как основную причину движения воды в поверхностных слоях почвы. Приведен ряд формул, позволяющих оценить выбросы зольных частиц в атмосферу за пределы санитарно-защитной зоны золошлакоотвала, твердых частиц, сдуваемых с поверхности золошлакоотвала, и ориентировочную ширину пылевого облака.

Полученные результаты будут использованы при разработке программных средств для определения влияния мест хранения отходов теплоэнергетики на окружающую среду и население прилегающих территорий.

Ключевые слова: золошлакоотвал, золошлаковые отходы, модель миграции, загрязнение окружающей среды.