

Г. П. Євграфіна, Л. В. Доценко

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВЕРТИКАЛЬНОГО МАСОПЕРЕНОСУ НА ШАХТНИХ ВІДВАЛАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Запропоновані, розроблені і кількісно охарактеризовані багатоваріантні математичні моделі таких типів відвалів: відсипані без рекультивації, рекультивовані в умовах богарного землеробства, рекультивовані в умовах систематичного зрошення і вільного заростання дикими рослинами. Усі види моделей побудовані на основі теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ із використанням аналітичних і чисельних методів розв'язання рівнянь руху і збереженням маси речовини. Епігнозним моделюванням доведена адекватність побудованих моделей і природно-техногенних процесів, які відбуваються у відсипаних на поверхні землі шахтних породах.

Ключові слова: математичні моделі, рекультивація, масоперенос, адекватність.

Предложены, разработаны и количественно охарактеризованы многовариантные математические модели таких типов отвалов: отсыпанные без рекультивации, рекультивированные в условиях богарного земледелия, рекультивированные в условиях систематического орошения и свободного зарастания дикими растениями. Все виды моделей построены на основе теории физико-химической гидродинамики пористых сред с использованием аналитических и численных методов решения уравнений движения и сохранением массы вещества. Эпигнозным моделированием доказана адекватность построенных моделей и естественно-техногенных процессов, которые происходят в отсыпанных на поверхности земли шахтных породах.

Ключевые слова: математические модели, рекультивация, масоперенос, адекватность.

The multivariate mathematical models of the recultivated, recultivated and dumping with dry system, recultivated in systematically irrigation conditions and free of overgrowth by wild plants are proposed, designed and quantified. The theory of physico-chemical hydrodynamics of pore space using analytical and numerical methods for solving the equations of motion and mass conservation of matter all models are based on. The adequacy of built models and man-made processes that proceed inside the mine dumps is proved.

Key words: mathematical models, reclamation, mass transfer, adequacy.

Західний Донбас – потужний вугледобувний регіон України. Вилучені із гірничих виробок породи відсипають на поверхні землі, заповнюючи ними природні і техногенні зниження рельєфу.

Відвали порожньої породи, які щорічно утворюються в Західному Донбасі, украй негативно впливають на стан навколишнього середовища в цьому техногенно навантаженому регіоні. Незважаючи на те, що відвали Західного Донбасу відсипаються більш пласко у порівнянні з Великим Донбасом, що знижує інтенсивність їхнього загоряння, цього, вкрай негативного процесу з погляду забруднення атмосферного повітря, уникнути негативних наслідків повністю не вдається. Пилення з відвалів, вітрова й водна ерозія вкрай негативно позначаються на всіх складових прилягаючих біогеоценозів: фітоценозі, зооценозі, мікробіоценозі, ґрунтах і навіть мікрокліматі, тому що на прилягаючих територіях буде істотно змінюється тепловий режим й особливо – гідрологічний.

У даний момент широко практикується відсипання шахтною породою штучних і природних знижень рельєфу. Якщо з погляду осідань, викликаних підробітком території таку практику можна визнати доцільною, то заповнення

порожньою породою природних знижень – балок, ярів зовсім не припустимо. Оскільки в даному техногенно й антропогенно трансформованому регіоні ці природні ценози служать місцем перебування значної кількості видів флори й фауни. У районі Західного Донбасу значні площі використовуються під сільськогосподарські угіддя, тобто зайняті всього лише декількома десятками видів рослин, що різко знижує індекс розмаїтості й підвищує індекс домінування. А зниження видової розмаїтості є однією з найважливіших причин загального зниження стійкості екосистем.

У сформованій ситуації найбільш доцільним представляється все – таке використання земель зайнятих під шахтні відвали у сільськогосподарському виробництві, але для сільськогосподарського використання відвали непридатні без покриття їх родючим шаром. Проблема вибору оптимальних варіантів рекультивації за комплексом сільськогосподарських, природоохоронних і економічних показників є завжди актуальною.

Шахтні відвали Західного Донбасу повсюдно у різному ступені засолені. Засолення сульфатне. Мета побудови математичних моделей – для кожного конкретного варіанта рекультивації запобігти розвитку процесів вторинного засолення насипного родючого шару шляхом багатоваріантних розрахунків у широкому діапазоні зміни початкових даних.

Методика досліджень на першому етапі передбачає доказ адекватності моделі і об'єкта шляхом епігнозного моделювання. Об'єктом вибрані відвали шахт Самарська і Тернівська, відсіпані без рекультивації. Відбір зразків на засоленість виконувався двократно (рис. 1).

На жаль, це єдиний об'єкт у межах нашої поінформованості, який дає змогу виконати епігнозний розрахунок. Модель будується із передумови, що на шахтному відвалі переважає вертикальний масоперенос, який описується одномірним рівнянням

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} = m \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

де D – коефіцієнт гідродисперсії, комплексний узагальнений параметр, що враховує всі фактори розсіювання розчинних солей шляхом дифузії і конвекції, $m^2/\text{доб}$; C – засоленість порід відвалів і насипного шару, % щільності сухого ґрунту; v – швидкість вертикального вологопереносу, $m/\text{доб}$; m – об'ємна вологість, доли одиниці; x – просторова координата, m ; t – часова координата, доб .

Методи визначення параметрів D і v , стосовно задачі, яка розглядається, детально описані в монографії [1]. Початок координат $x=0$ вибираємо на поверхні насипного шару. Швидкість вертикального вологопереносу визначаємо балансовим методом

$$v = \frac{O-B}{365 \cdot 1000}, \quad (2)$$

де O – кількість атмосферних опадів, середньо багаторічна величина за розрахунковий період, mm ; B – випаровування у природних умовах за той же час, mm .

Природні умови Західного Донбасу характеризуються перебільшенням опадів над випаровуванням у середньому на $9 mm$, тому згідно з розрахунком за

формулою (2) $v=2,64 \cdot 10^{-5}$ м/добу. Поток води несхідний $O > V$. Він забезпечує дуже повільний рух солей від поверхні відвалів до нижчерозташованих шарів. Для таких умов доцільно застосувати розрахункову схему напівобмежений шар, якщо рівень ґрунтових вод залягає нижче критичної глибини. У прикладі, який розглядається, ця умова виконується, тому задача розв'язана за Данквертсом-Бреннером [2]. Ко-ефіцієнт гідродисперсії визначався чисельно-аналітичним методом [1]. У процесі розв'язання епігнозної задачі виконувалось корегування параметрів D , v і m у межах їх можливої зміни у часі для досягнення повного співпадіння результатів розрахунків на моделі і спостережень у природних умовах – головного критерію адекватності.

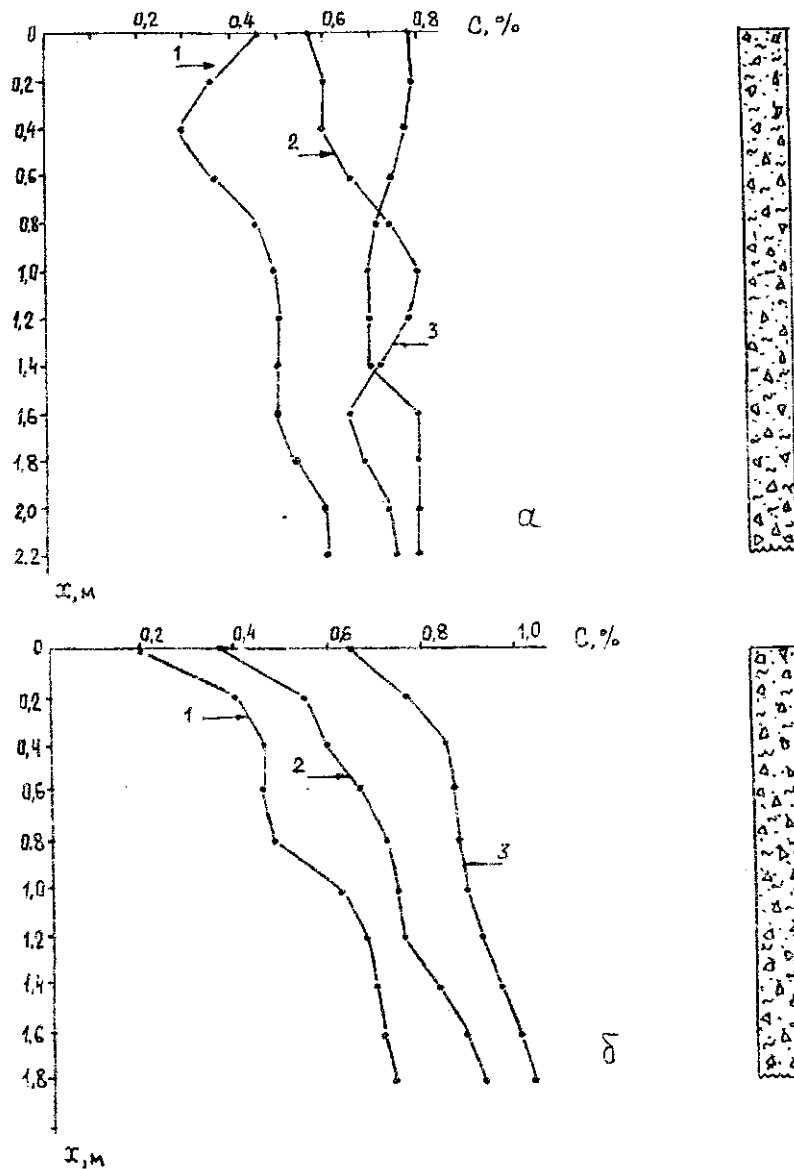


Рис.1. Характеристика засоленості порід нерекультиваних отвалів:
а) 1978 р., б) 1998 р.; шахти: 1 – Самарська, 2, 3 – Терновська

Методика досліджень на другому етапі у кожному конкретному випадку полягає в однозначному виборі моделі із таких запропонованих варіантів.

Перша модель характеризує відвали, отсипані без рекультивації. Середньо – багаторічна величина швидкості вертикального вологопереносу, оцінена балансовим методом, дорівнює $2,46 \cdot 10^{-5}$ м/доб. Процес вологопереносу – інфільтраційний. Він забезпечує повільне розсолення верхніх горизонтів отсипаних порід із швидкістю 1 – 3 см за рік залежно від величини початкового засолення, яке дорівнює 0,3 – 1 % щільності сухого ґрунту.

Друга модель відображає міграцію солей на рекультивованому відвалі богарного землеробства. Наявність транспірації утворює тут випаровуваний режим вологопереносу, негативним наслідком якого буде вторинне засолення насипного ґрунтового шару.

Третя модель відрізняється від попереднього варіанта заміною богарного землеробства на систематичне зрошення поверхневими водами, або шахтними низької мінералізації там, де це можливо. Наприклад, для відвалів східної групи шахт придатні для зрошення води р. Самари і М. Тернівки при умовах внесення меліорантів, кількісно оцінених за методикою УкрНДУГіМ [3]. Режим зрошення повинен бути промивним. Модель дозволяє вибрати оптимальну мінералізацію поливної води.

Четверта модель. Натурний варіант запропоновано вченими Дніпропетровського державного аграрного університету. Поверхня відвалу покрита метровим шаром глини або родючої суміші для вільного зростання дикими рослинами. Такий відвал є аналогом другої моделі, але вторинне засолення буде відбуватися повільно, тому що дикі рослини мають меншу транспірацію, ніж культурні.

П'ята модель обґрунтована співставленням хімічних аналізів ґрунтів і відвалів (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика шахтних порід і ґрунтів
(хімічний склад, % на 100 г сухої породи)**

назва породи	втра-ти при про-ка-лю-ван-ні, %	мі-не-ра-льні ре-чо-ви-ни, %	Хімічний склад, % на 100 г сухої породи										Єм-ність по-гли-нан-ня, мг-екв/100 г поро-ди
			Елементи										
			N	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	
Черно-зем тучний глинястий	14,85	83,8	0,61	0,22	44,35	15,8	4,52	1,97	1,55	2,27	0,71	-	53,3
Порода шахтних відвалів	13,71	85,69	0,01	0,15	54,35	14,41	10,15	0,68	1,91	2,58	0,75	0,87	7,87

Аналіз даних таблиці свідчить, що відвали від ґрунтів суттєво відрізняються тільки змістом азоту (в 60 разів) і ємністю поглинання (в 6,77 разів). З'єднання SO_3 у черноземах відсутнє, а відвали містять його 0,87 %, тому що вони повсюдно у різному ступені засолені сульфатами. Лабораторні дослідження на малих зразках відвалів дають такі результати. Якщо їх поливають із азотними добривами рекомендованими нормами [4], то посіви диких рослин на відвалах без покриття родючим шаром добре всходять і розвиваються. Цей експеримент потребує перевірки на дослідних полігонах у природних умовах. Дуже мала ємність поглинання відвальних порід є позитивним моментом, за такими показниками ніколи не розвивається осолонювання як в умовах зрошення, так і при його відсутності. Режим поливу із внесенням добрив обов'язково повинен бути промивним, щоб забезпечувати винесення солей із кореневого шару рослин.

Висновки.

1. Запропоновані математичні моделі мають високий ступінь адекватності об'єктам досліджень – шахтним відвалам.
2. Третя модель є найбільш результативною з позицій вирощування сільськогосподарських культур, але і самою затратною
3. П'яту модель після перевірки у природних умовах слід вважати самою економічною.

Бібліографічні посилання

1. **Евграшкина Г. П.** Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий / Г. П. Евграшкина. – Днепропетровск, 2003. – 200 с.
2. **Brenner H.** The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values – Chemical Engineering Science, 1962, № 4.
3. **Корж А. М.** Методические указания по мелиоративному контролю качества оросительных вод Украинской ССР / А. М. Корж, Н. Н. Муромцев, М. И. Ромащенко, В. Е. Алексевский. – К, 1990. – 67 с.
4. Справочник по орошению сельскохозяйственных культур в Донбассе. – Донецк, 1970. – 402 с.

Надійшла до редколегії 29.02.12.