

УДК 504.06



Л. Г. ЗУБОВА,
доктор техн. наук
(Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля)



О. Р. ЗУБОВ,
доктор с.-г. наук
(Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля)



Ю. І. МАКАРШИНА,
аспірант
(Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля)

Моделювання процесу формування дощового стоку як чинника деформаційних явищ на поверхні відвалів

Проаналізовано поширення зсувних проявів на укосах породних відвалів вугільних шахт. У результаті фізичного моделювання зливових опадів встановлено закономірності формування стоку води на поверхні відвалів та отримано математичну модель, яку можна використати для обґрунтування заходів щодо запобігання ерозійним і зсувним явищам на укосах відвалів.

Ключові слова: породний відвал, терикон, атмосферні опади, штучне дощування, поверхневий стік, зсув.

Контактна інформація: zubov-home@mail.ru

ляють на такі види [1]: осипи, опливи – осипання шматків породи різного розміру; зсуви – зміщення (зісковзання) маси відвальної породи під дією сили тяжіння; обвали – відрив та переміщення маси відвальних порід схилом униз, їх перекидання та подрібнення; розмиви – вимивання відвальної породи потоками води (рис. 1); просадки, тріщини тощо.

Найнебезпечнішими з цих деформацій є зсуви та обвали порід. На рис. 2 наведено інформацію про кількість породних відвалів із деформаціями для Луганської області, отриману авторами в процесі вивчення космічних знімків території. Як показано на рис. 2, найбільшу кількість таких відвалів розташовано на території об'єднань «Луганськвугілля» та «Луганськвуглезбагачення» – 19,1 та 16,7 % відповідно. В ПАТ «Краснодонвугілля», ДП «Антрацит» та об'єднанні «Антрацит-вуглезбагачення» не зафіксовано жодного деформаційного явища.

Відомо, що деформаційні та ерозійні вияви залежать від кількості опадів та їх інтенсивності [2].

Але найвпливовішим чинником цих явищ є, на думку авторів, не стільки кількість опадів, скільки нерівномірний стік води під час злив або сніготанення по поверхні плоских верхівок відвалів і терас. Ця нерівномірність, яка є наслідком неякісного виконання робіт з горизонтального планування верхівок відвалів і терас, призводить до концентрації води, що стікає на окремих частинах їх відкосів або локального перезволоження значних масивів відвальної породи. Тому правильне кількісне оцінювання процесу стокоутворення та перерозподілу води атмосферних опадів на поверхні відвалів є найважливішою умовою як прогнозування деформаційних та ерозійних явищ, так і розроблення заходів з їх запобігання.

Мета цієї роботи – вивчення процесу формування поверхневого стоку на поверхні відвалів вугільних шахт під час зливових опадів.

Для проведення польових досліджень вибрано типовий для Луганської області недіючий породний відвал № 1 шахти «Сутоган» у Лутугинському районі.

Порода у діючих та недіючих породних відвалах вугільних шахт та збагачувальних фабрик безперервно піддається впливу атмосферних процесів, внаслідок чого фізико-хімічні властивості відвальних порід змінюються, а відвали піддаються деформаціям.

За зовнішніми виявами деформації породних відвалів поді-

Відвал має форму усіченого конусу та висоту 35 – 45 м, складається з гірничих порід пластів $l_1, l_6, k_{3в}$ потужністю 1,1 – 2,2 м з кутом падіння 5° (глибина робіт 610 м). Експлуатація відвалу закінчилася в 70-х роках. У 80-ті роки проведено його рекультивацию. Гірничотехнічний етап рекультивации полягав у зрізанні конусної верхівки, біологічний – у посадці на схилах саджанців деревинних порід.

Із західного боку до відвалу № 1 примикає породний відвал № 2, який так само переформували зі зрізанням верхівки, нанесенням родючого шару і висадкою саджанців. Відвал № 2 є нижчим, його висота 20 – 30 м.

На цей момент на схилах і пласкій верхівці зростає в основному акація біла (*Robinia pseudoacacia*). Трав'янистий покрив на породному відвалі є неоднорідним і представлений типовими для степової зони рослинами: вейник наземний (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), пирій повзучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), берізка польова (*Convolvulus arvensis* L.), подорожник ланцетолистий (*Plantago lanceolata* L.), горошок мишачий (*Vicia cracca* L.).

На північному і південному схилах породного відвалу № 1 сталися зсуви порід, які відрізняються за формою і видом.

Для вирішення поставленого завдання промодельовано процес формування поверхневого стоку на поверхні відвалу. Моделювання зливових опадів виконувалося за допомогою переносної дощувальної установки (рис. 3), виготовленої авторами за зразком імітатора дощу, розробленого вченими Аргентини, та удосконаленої В. І. Тарасовим у Луганському інституті агропромислового виробництва НААН України [3].

Штучне дощування проводилося на пласкій верхівці та на схилі частині відвалу. Варіантами дослідів на верхівці були такі ділянки: без рослинності; з деревинною рослинністю; з трав'янистою рослинністю. Варіантами дослідів на відкосах обрано ділянки: на тілі зсуву (північний схил); по лінії відриву тіла зсуву (поверхні ковзання); на непорушеній ділянці північного схилу (контроль).

Рис. 2. Кількість породних відвалів N із деформаціями для регіональних об'єднань вугільних підприємств: 1 – ПАТ «Лисичанськвугілля»; 2 – ДП «Первомайськвугілля»; 3 – ВО «Стахановвугілля»; 4 – ТОВ «ДПЕК Ровенькиантрацит»; 5 – ТОВ «ДПЕК Свердловантрацит»; 6 – ДП «Донбасантрацит»; 7 – ДП «Луганськвугілля»; 8 – ВП «Луганськвуглезнабагачення» ДП «Луганська вугільна компанія».



Рис. 1. Ерозійні та зсувні явища на поверхні породного відвалу зі зрізаною верхівкою.

Графік дощу прийняли чотирифазовим із наближенням до плювіограм типових дощів вірогідністю перевищення (забезпеченістю) 5, 10, 20 і 30 %, розроблених у Національному науковому центрі «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського» НААН України для ерозійного району 2f [2], до якого належить дослідний об'єкт. За даними розробників [2], за дощ 10 %-ї забезпеченості прийнято дощ, який випадає один раз на рік. Отже, менш забезпечені дощі (5 %) відбуваються один раз на два роки, а більш забезпечені (20 і 30 %) – відповідно двічі й тричі на рік.

Для створення потрібної інтенсивності дощу в дощувачі установки підтримувався потрібний напір згідно з графіком її тарування.

Досліди проведено у триразовій повторюваності. Для кожного ступеня інтенсивності дощу визначали об'єм рідкого стоку, фільтруванням проби стоку відділяли тверду фракцію, за масою якої розраховували каламутність стоку і змивання породи з одного гектара. Результати досліджень наведено в табл. 1.

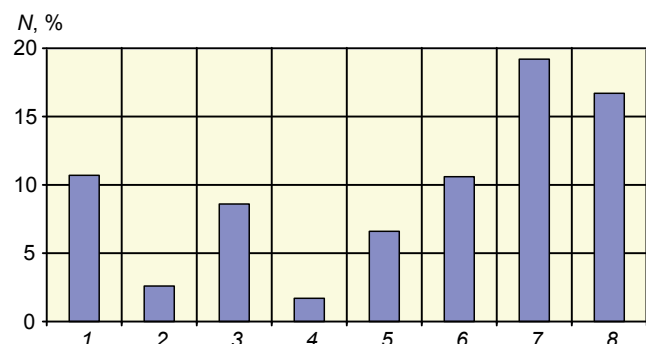




Рис. 3. Установка для моделювання зливових опадів.

Водно-фізичні властивості вивчали за загальновідомими методами: водопроникність ґрунту – методом заливання трубок завдовжки 100 мм з підтриманням рівня води 5 см; вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом по шарах заввишки 10 см; об'ємну щільність ґрунту – методом різального кільця Качинського.

Майже на всіх досліджуваних ділянках, окрім тіла зсуву, стік сформувався під час випадіння опадів забезпеченістю не вище 20 %, тобто при загальній висоті їх шару не менш як 32,1 мм.

Як видно з табл. 1 і рис. 4, на пласкій верхівці відвалу найбільший стік сформувався на ділянці без рослинності. На ділянці з деревинною рослинністю, де ґрунт укритий листовим опадом, стік був меншим, а на ділянці з трав'яним покривом стік взагалі не зафіксовано (ні при жодній висоті шару опадів). На схилі частині відвалу найбільший стік відбувся на поверхні ковзання тіла зсуву. Значно менші коефіцієнти стоку η (відношення шару стоку до шару опадів) отримано на контрольній ділянці та на тілі зсуву.

За результатами моделювання зливових опадів встановлено, що значення стоку з площадок щільно корелює із шаром опадів (або їх забезпеченістю), що підтверджено високим коефіцієнтом детерміна-

Таблиця 1

Геоморфологічна, ботанічна та ґрунтова характеристика стокових майданчиків				Метеорологічні умови та ерозійно-гідрологічні характеристики дослідів				
Вид ділянки	Похил, ...°	Об'ємна щільність, г/дм ³	Інтенсивність фільтрації, мм/хв	Шар опадів, мм	Інтенсивність усотування опадів, мм/хв	Шар стоку, мм	Коефіцієнт стоку	Змив породи з 1 га, т
<i>Пласка верхівка</i>								
Без рослинності	1,5	1,44	0,95	120,0	1,81	11,0	0,09	0,25
	2,0	1,53	0,81	46,4	1,24	2,9	0,06	0,11
	2,0	1,55	0,79	32,0	1,23	0,0	0,0	0,00
Деревинна рослинність	1,0	1,25	0,97	120,0	1,91	5,5	0,05	0,02
	1,0	1,24	0,95	46,4	1,26	2,2	0,05	0,02
	1,0	1,34	0,92	32,0	1,23	0,0	0,0	0,0
Трав'яниста рослинність	0,5	1,22	1,67	120,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	0,5	1,21	1,69	46,4	1,33	0,0	0,0	0,0
	0,5	1,23	1,61	32,0	1,23	0,0	0,0	0,0
<i>Північний схил</i>								
Непорушений схил (контроль)	2,0	1,20	0,97	120,0	1,84	9,4	0,08	0,03
	2,0	1,22	0,92	46,4	1,24	2,9	0,06	0,05
	2,0	1,21	0,94	32,0	1,21	0,5	0,02	0,08
	2,0	1,20	0,95	25,6	1,16	0,0	0,0	0,0
Тіло оповзання	3,0	1,22	0,91	120,0	1,81	12,0	0,10	0,03
	3,0	1,21	0,92	46,4	1,22	3,9	0,08	0,06
	3,0	1,23	0,89	32,0	1,15	2,1	0,07	0,05
	3,0	1,24	0,86	25,6	1,14	0,5	0,02	0,06
Поверхня ковзання	4,0	1,51	0,63	120,0	1,68	19,0	0,16	0,05
	4,0	1,55	0,64	46,4	1,22	3,6	0,08	0,05
	3,0	1,58	0,55	32,0	1,2	0,7	0,02	0,08
	4,0	1,62	0,52	25,6	1,16	0,0	0,0	0,0

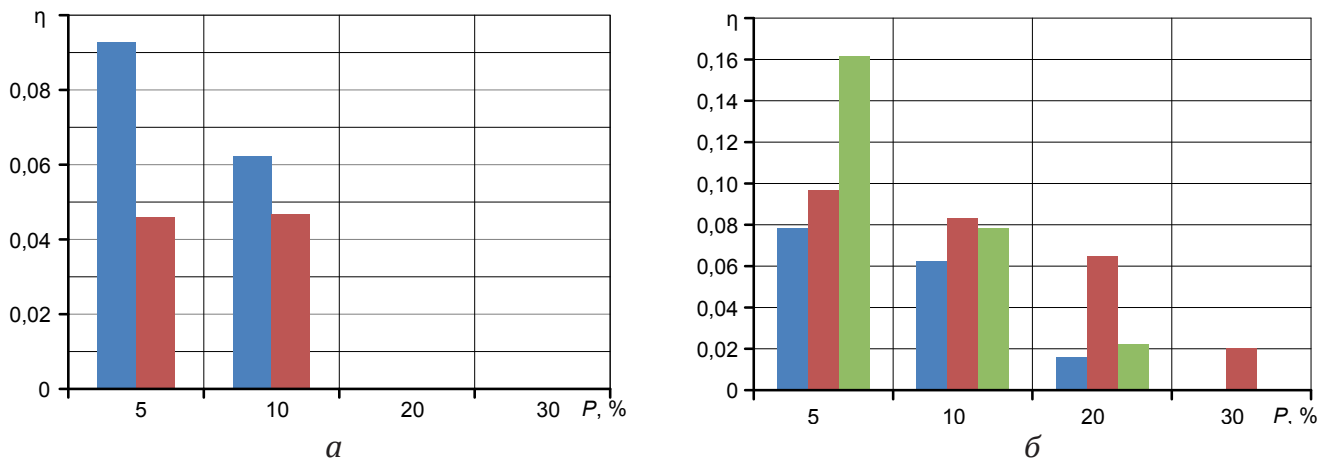


Рис. 4. Коефіцієнти стоку η при різній забезпеченості P опадів: *а* – на ділянках пласкої верхівки (синій колір – ділянка без рослинності, червоний – з деревинною рослинністю); *б* – на ділянках зсувної зони (синій колір – непорушена ділянка, червоний – тіло зсуву, зелений – поверхня ковзання).

ції – понад 0,93. Графічну інтерпретацію виявлених залежностей, їх рівняння та коефіцієнти детермінації отримано за допомогою програми Microsoft Excel (рис. 5).

З цих даних видно, що найбільшу стокорегулюючу здатність має трав'яниста рослинність, деревинна також сприяє зменшенню стоку, але набагато менше, що насамперед пов'язано із впливом рослинності на щільність ґрунтів, підвищенням їх фільтрувальної здатності та захисною дією рослинності на поверхню ґрунту або породи. Ці висновки підтверджено під час багатофакторного аналізу зв'язку шару стоку з шаром опадів, водопроникністю та іншими чинниками таблиці, який виконано за методом Брандона в методичній інтерпретації О. Ф. Ігуменцева та В. О. Білолипського [4] з використанням комп'ютерної програми «Фактор» Ф. Д. Зеленського та В. П. Голубцова, розробленої в Інституті охорони ґрунтів НААН України.

Отримана математична модель має вигляд

$$Y = Y_1 Y_2 Y_3,$$

де Y – шар стоку;

Y_1, Y_2, Y_3 – рівняння-множники, що містять незалежні перемінні X_1, X_2, X_3 , розташовані у порядку зменшення їх впливу на Y (табл. 2).

З трьох рівнянь лише перше дає шар стоку в натуральному вигляді, інші два виконують роль уточнювальних коефіцієнтів, завдяки введенню яких коефіцієнт

кореляції послідовно зростає з 0,76 до 0,98 (див. табл. 2).

Оскільки друге місце за впливом на розмір стоку має інтенсивність фільтрації води в породу визначена методом трубок, можна пояснити відсутність стоку на ділянці з травою не тільки найменшою крутизною схилу, а й найвищою інтенсивністю фільтрації, яка при опадах 10 %-ї забезпеченості навіть перевищує інтенсивність усмоктування води при дощуванні (1,69 проти 1,33).

Найнижчу фільтраційну здатність має площина ковзання – майже на 50 % нижчу за інші ділянки без рослинності. Можна припустити, що саме наявність таких прошарків у тілі відвалу в сукупності з підтоком води з верхівки стала причиною зсуву на досліджуваному об'єкті та на багатьох інших.

Кореляційний зв'язок між обсягом змивання породи та шаром опадів у цілому за всіма ділянками виявити не вдалося. Змивання породи з 1 га на більшості ділянок не перевищувало 0,1 т, що менше у 20 – 40 разів порівняно з допустимим змиванням ґрунту на ріллі. Це цілком зрозуміло, адже на стокових майданчиках має місце лише зародження сто-

Таблиця 2

Чинники (незалежні перемінні)	Рівняння функцій-множників	Зростання коефіцієнта множинної кореляції R	Інтервали варіювання чинників
Шар опадів X_1 , мм	$Y_1 = -2,38 + 0,1X_1$	0,76	25,6 – 120
Інтенсивність фільтрації води в породу X_2 , мм/хв	$Y_2 = 1,990 - 1,095X_2$	0,92	0,52 – 1,69
Крутизна схилу X_3 , ...°	$Y_3 = 2,122 - 1,531X_3^{-0,5}$	0,98	0,5 – 3,5

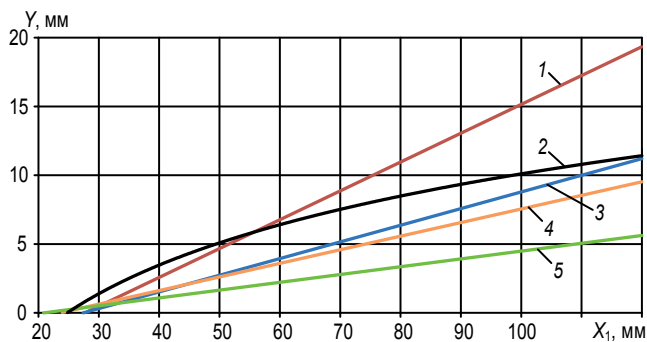


Рис. 5. Графіки залежності висоти шару стоку Y від шару опадів X_1 на ділянках пласкої верхівки та відкосах відвалу: 1 – поверхня ковзання; 2 – тіло зсуву; 3 – ділянка без рослинності; 4 – контрольна ділянка; 5 – ділянка з деревинною рослинністю.

ку і так звана «міжструмкова ерозія» [2]. Значно більшою загрозою є концентрація стоку зі стокоформувальних діляночок у струмки та злиття останніх, що призводить до появи катастрофічних розмивів на поверхні конічних відвалів та справжніх ярів і зсувів на схилах відвалів з пласкою верхівкою через наявність великої стокозбиральної площі. А це означає катастрофічне забруднення безпосередньо прилеглої до них території, яка на 28 % є територією населених пунктів, на якій тільки в Луганській області мешкають 8 тис. людей; на 38 % – присадибних ділянок і на 18 % – ріллі [5].

Висновки. На підставі отриманих даних можна констатувати, що висота шару щорічного стоку вологи зливових опадів з відвалів та обсяг стоку з кожного гектара їх поверхні можуть досягати відповідно 19 мм та 190 м^3 води, яка при концентрації її стікання в певному напрямі здатна до великої

руйнівної дії. Більш точно прогнозне оцінювання стоку можна здійснити за допомогою розробленої математичної моделі. А для запобігання деформаційним явищам на поверхні відвалів під впливом стоку води потрібно, по-перше, відмовитися від практики зрізання верхівок на териконах, які вже не становлять загрози займання; по-друге, більш ретельно виконувати роботи з горизонтального планування пласких верхівок відвалів; по-третє, обов'язковою умовою екологічної безпеки відвалів є не лише їх технічна рекультивация, а й обов'язковий біологічний етап рекультивация; по-четверте, потрібне розроблення та упровадження технічних заходів з безпечного відведення вологи атмосферних опадів з пласких верхівок відвалів і терас на їх схилах до гідрографічної мережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сухаревский В. М. Деформации породных отвалов / В. М. Сухаревский, А. П. Стельмах, И. С. Фридман. – К.: Техника, 1970. – 108 с.
2. Булыгин С. Ю. Формирование экологически сбалансированных агроландшафтов: проблема эрозии / С. Ю. Булыгин, М. А. Неаринг. – Харьков: Эней, Лтд, 1999. – 272 с.
3. Пат. № 62336А України, МПК А01В 13/16, А01G 25/00. Дошувальна установка для вивчення ерозії ґрунтів / В. І. Тарасов, О. Р. Зубов, Ю. І. Колесніков; заявник і патенто-власник Луганський ін-т агропромисл. виробництва. – № 2003032004; дата подання заявки 06.03.03; опубл. 15.12.03, Бюл. № 12.
4. Белолипский В. А. О методах изучения эрозионных процессов / В. А. Белолипский, Н. М. Шелякин, А. Ф. Игуменцев // Почвоведение. – 1985. – № 12. – С. 98 – 105.
5. Оптимизация терриконовых ландшафтов: монография / Л. Г. Зубова, О. Р. Зубов, С. Г. Воробьев. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. – 240 с.