D2-15 b.qxd 28.05.2015 14:36 Page 58

5. Temirgaliev Sh.M. Vestnik selskokhoziaistvennoi nauki Kazakhstana. 1991. ; 6 : 86-88 (in Russian).
6. Sakai H., Sasaki T., Saito K. Sci.Total Environ.1998 ; 77 : 163-174.
7. Daukaev R., Suleimanov R. Gig. i san. 2008 ; 5 : 26-28 (in Russian).
8. Bystrykh V.V., Boev V.M., Makshantsev S.S., Muzaleva O.V., Belosludtseva L.A. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2006 : 12 : 52-54 (in Russian).
9. Chalina N.B., Ivanchenko N.L. Khimicheskie nauki. 2012 ; 12 : 105-106 (in Russian).
10. Smirnova S.N., Dolin V.V. Tiazhelyie metally v snezhnom pokrove Nikolaeva [Heavy Metals in the Snowpack of Nikolaev]. In : Zbirnyk prats In-tu heolohii navkolyshnoho seredovishcha NAN ta MNS Ukrainy [Collection of Works of the Institute of Ecology and Environmental National Academy of Sciences of Ukraine and the State Emergency Service of Ukraine]. Kyiv ; 2011 ; 10 : 115-124 (in Russian).
11. GOST 27384-2002 Mezhgosudarstvennyi standart. Voda. Normy pogreshnosti izmerenii pokazatelei sostava i svoistv [State Standard 27384-2002 Interstate Standard. Water. Standards of Errors in Measurement of Composition and Properties Indicators]. Moscow ; 2002 : 7 p. (in Russian).
12. Voda pytna. Normatyvni dokumenty. Dovidnyk [Drinking Water. Regulations. Handbook]. Lviv : Leonorm-standart ; 2001 ; 2: 234 p. (in Ukrainian).
13. Ermachenko L.A. Atomno-absorbtsionnyi analiz v sanitarno-gigienicheskikh issledovaniiakh : metodicheskoe posobie [Atomic absorption analysis in sanitary studies: handbook]. Moscow : Chuvashiia ; 1997 : 207 p. (in Russian).
14. DSTU ISO 11885:1996. Vyznachennia 33 elementiv metodom atomno-emisiinoi spektrometrii z induktyvno-zviazanoiu plazmoiu u vodi [State Standards of Ukraine ISO 11885: 1996. Determination of 33 Elements by Atomic Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma in Water]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy ; 2007 :14 p. (in Ukrainian).
15. Antomonov M.Yu. Matematicheskaia obrabotka i analiz mediko-biologicheskikh dannykh [Mathematical Processing and Analysis of Medical and Biological Data]. Kiev ; 2006 : 558 p. (in Russian).
16. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagriazneniia atmosfernogo vozdukha naselennykh punktov metallami po ikh soderzhaniiu v snezhnom pokrove i pochve [Guidelines for Assessing the Pollution Extent of Settlements` Air with Metals on their Content in the Snow Cover and Soil]: № 1743-90. Moscow : IMGRE ; 1990 :112 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 27.06.2014

THE INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT OF WASTE STORAGES OF UKRAINIAN MINING INDUSTRY

Trahtengerts G.

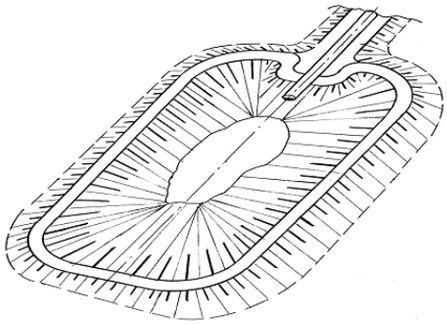
ВПЛИВ НАКОПИЧУВАЧІВ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ НА ДОВКІЛЛЯ

ТРАХТЕНГЕРЦ Г.Я.
ДУ "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва НАМН України", м. Київ

Розвиток гірничо-металургійного комплексу України супроводжується накопиченням відходів, проблема утилізації яких залишається невирішеною донині. Внаслідок діяльності підприємств зі збагачення залізної руди утворюється велика кількість відходів, які являють собою пульпу — суміш твердої та рідкої фаз у співвідношенні приблизно 1:10. Для цієї категорії стоків не розроблено ефективних способів промислового очищення. Разом з тим обсяг осаду у стічних водах настільки значний, що потрібно його складувати у великих ємностях. В якості таких ємностей (або хвостосховищ) використовуються спеціально збудовані гідротехнічні споруди або в окремих випадках природні невеликі водойми (рис. 1).

Рисунок 1

Принципова схема облаштування хвостосховища



Виробництво глинозему за технологією Байєра супроводжується продукуванням значної кількості відходів вилуговування бокситів — червоних шламів, складних хімічних сумішей з тонкодисперсним морфологічним складом. Проблема утилізації цієї речовини не вирішена. Її накопичення та зберігання відбувається у відкритих інженерних спорудах — шламосховищах.

ВЛИЯНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
Трахтенгерц Г.А.

Цель работы: *определение класса опасности отходов горно-обогатительного комплекса Украины — хвостов обогащения железной руды и шлама глиноземного производства — и исследование влияния накопителей этих промышленных отходов на окружающую среду.*
Материалы и методы. *В ходе работы изучались хвосты обогащения железной руды, красный шлам глиноземного производства, хвостохранилища и шламонакопители, почва, геомикробиоценоз. Применялись физико-химические, санитарно-химические, библиографический и аналитический методы исследований.*
Результаты*. В процессе исследований были выявлены гранулометрический и химический состав исследуемых отходов и по содержанию токсичных компонентов (тяжелых металлов) определен их класс опасности. Выявлено наличие ареала загрязненной тяжелыми металлами почвы на прилегающих к накопителям отходов территориях. Установлено, что во многих случаях этот ареал выходит за пределы санитарно-защитных зон размером 300 м. Доказано, что поступление в почву хвостов обогащения железной руды и красного шлама глиноземного производства за счет их токсичных компонентов снижает ферментативную активность почвы и отрицательно сказывается на ее биологических свойствах.*

© Трахтенгерц Г.Я. СТАТТЯ, 2015.

D2-15 b.qxd 28.05.2015 14:36 Page 59

THE INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT OF WASTE STORAGES OF UKRAINIAN MINING INDUSTRY
Trahtengerts G.

***The Objective**: to determine the hazard class of waste from the Ukrainian mining and processing complex: iron ore processing tailings and slurry of alumina production; to study the impact of these industrial waste storages on the environment.*
***Materials and methods**. During the work were studied iron ore enrichment tails, the red mud of alumina production, tailing dump and tailings pond soil geo microbiocenosis. There were used the physicochemical, the sanitary-chemical, the bibliographic and the analytical research methods.*
***Results**. During the study were identified particle size and chemical composition of the investigated waste and was defined their hazard class the content of toxic components (heavy metals). The presence of contaminated soil with heavy metals in the areas adjacent of waste storages territories is revealed. It is established that in many cases this area is outside the sanitary 300 m protection zones. It is proved that the flow of iron ore tailings and red mud from alumina production in the soil reduces the enzymatic activity of the soil and adversely affect the biological properties due to their toxic components.*

Метою роботи було визначення складу та класу небезпеки відходів гірничо-збагачувального комплексу України: хвостів збагачення залізної руди і червоного шламу глиноземного виробництва та дослідження впливу накопичувачів цих промислових відходів на довкілля.

Матеріали та методи досліджень. У ході роботи вивчали хвости збагачення залізної руди, червоний шлам глиноземного виробництва, хвостосховища та шламонакопичувачі, ґрунт, геомікробіоценоз. Застосовували фізико-хімічні, санітарно-хімічні, бібліографічний та аналітичний методи досліджень.

Результати та їх обговорення. Значна частина діючих хвостосховищ проектувалася під висоту дамб до 30 м, але у процесі експлуатації через невирішеність проблеми утилізації відходів та у зв'язку з потребою забезпечення роботи ГЗК ємностями для прийому пульпи, внаслідок послідовних реконструкцій висота дамб обвалування і відповідно рівні складування хвостів доходять до 100 м. При цьому нормативні розміри санітарно-захисної зони для цих споруд залишаються на рівні 300 м, як для підприємств 3 класу санітарної класифікації промислових об'єктів, але фактично існує суттєве підвищення техногенного навантаження на прилеглі до хвостосховищ території. Основні чинники негативного впливу хвостосховищ на довкілля такі: збільшення їхньої висоти над поверхнею землі призводить до збільшення вітрової ерозії на поверхнях карт намиву та пляжах через більш високі швидкості вітру над земною поверхнею. Це збільшення обсягів вітрової ерозії хвостів збагачення збільшує седиментацію їхніх часток на прилеглих до хвостосховищ територіях. Враховуючи високий вміст ВМ у хвостах збагачення, це спричиняє забруднення ґрунту прилеглих територій.

Таким чином, навколо хвостосховищ формується ареал забрудненого сполуками ВМ ґрунту, який, акумулюючи протягом багатьох років забруднення, є джерелом вторинного забруднення суміжних середовищ (рис. 2).

Щільність хвостів збагачення залізної руди не є постійною величиною, оскільки залежить передусім від щільності порід масиву, що розробляється. Хвости збагачення мають pH на рівні 7,1-8,5, тобто близько до нейтрального. Коефіцієнт фільтрації хвостів збагачення, залежно від переважаючої гранулометричної фракції та консолідованості, складав 0,22-1,07 м/добу.

Дослідження впливу флотореагенту на коефіцієнт фільтрації хвостів збагачення виявило підвищення коефіцієнта фільтрації за наявності у пульпі флотореагенту (використовувався Прокол), що може викликати збільшення водопроникності ложа хвостосховищ і як наслідок — збільшення фільтраційних витрат у водному балансі хвостосховищ [1].

Червоний шлам МГЗ, що досліджувався у рамках виконаної роботи, містить дуже високий відсоток сполук заліза та має високу лужну реакцію за рахунок залишкового каустику (pH до 12 од.).

Згідно з даними власних досліджень об'ємна вага зневодненого червоного шламу МГЗ становить 1,19 т/м^3, витяжка суспензії червоного шламу на дистильованій воді має pH 10,6. Коефіцієнт фільтрації червоного шламу МГЗ становить 0,1 м/добу.

Аналізуючи значення коефіцієнтів фільтрації, можна зробити висновок, що за значенням коефіцієнта фільтрації хвости збагачення є близькими до пилуватого піску, а червоний шлам є близьким до супіску та суглинку, що, ймовірно, зумовлене їхнім гранулометричним складом.

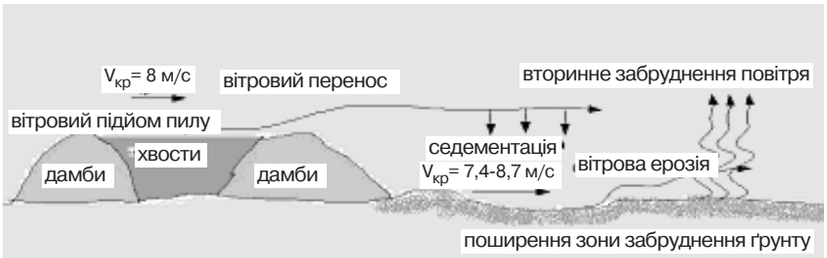
У хвостах збагачення залізної руди відсоток часток, що можуть бути віднесені до найдрібнішої частини пилуватої фракції (у діапазоні розмірів 0,005-0,010 мм), становить близько 58%, а частки, менші від 0,005 мм, не перевищують 2%.

Сумарна відносна кількість часток суглинистої фракції у червоному шламі становить близько 45%, що зумовлює зовсім інші порівняно з хвостами збагачення властивості та більшу стійкість щодо вітрової ерозії. Але досвід експлуатації шламосховища № 2 МГЗ свідчить, що за певних метеорологічних умов та температури повітря нижче нуля і припиненні зволоження поверхні шламосховища через вихід з ладу системи примусового зволоження відбувається швидка сублімація поверхневої корки червоного шламу з утворенням через змерзання часток корпускул саме пилуватих фракцій, внаслідок чого відбувається лавиноподібне зростання обсягів вітрової ерозії червоного шламу.

Хімічний склад хвостів збагачення обумовлюється вихідним складом руд та особливостями технологічного процесу збагачення. Відповідно варіюється і

Рисунок 2

Схема аерогенного поширення забруднень



мінералогічний склад хвостів збагачення. У більшості випадків за мінералогічним складом хвости збагачення можуть бути охарактеризовані як складна полімінералогічна субстанція, в якій присутні більше десяти мінеральних фаз, переважно сполук із класів карбонатів, каркасно-ланцюгових силікатів, шаруватих силікатів, оксидів заліза тощо.

Аналізуючи мінералогічний склад хвостів збагачення ГЗК Криворіжжя, можна зробити висновок, що силікати є переважаючою групою мінералів для всіх фракцій хвостів хвостосховищ усіх ГЗК, їхній вміст перебуває у межах від 70% для Південного ГЗК до 87% для Центрального ГЗК. Карбонати становлять від 7% до 26% хвостів збагачення. Оксиди заліза у вигляді гематиту та гетиту присутні у хвостосховищах у кількості 4-10%. Деякі джерела вказують, що в окремих відкладеннях хвостів вміст оксидів заліза може сягати 25% [2].

Власні дослідження (без урахування легких елементів) підтверджують, що основним компонентом хвостів збагачення залізної руди є кремній (у формі діоксиду). Вміст силікатів в узагальненій пробі хвостів збагачення становив 64,47±8,37%. Друге місце після кремнію у хвостах збагачення залізної руди посідає залізо. Його вміст в узагальненій пробі хвостів збагачення залізної руди сягає 31,11±4,62%. Важливим є відносно високий вміст марганцю 0,69±0,09%, оскільки марганець має дуже високу ГДК у ґрунті — 1500 мг/кг за низької ГДКс.д. у повітрі населених місць — 0,001 мг/м^3, що робить цей елемент небезпечним у разі вітрової ерозії хвостів збагачення.

Дослідження свідчать, що у червоному шламі переважаючим елементом є залізо за наявності певної кількості кальцію, алюмінію, титану та кремнію, а також у присутності магнію. Серед інших ВМ у червоному шламі у помітних кількостях міститься хром.

Як встановлено розрахунками, на підставі досліджень їхнього компонентного складу відповідно до "Гігієнічних вимог щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення" (ДСанПіН 2.2.7.029-99) хвости збагачення залізної руди та червоний шлам глиноземного виробництва належать до промислових відходів III класу небезпеки.

Метою виконаних досліджень було (окрім уточнення вмісту основних компонентів хвостів збагачення залізної руди та червоного шламу глиноземного виробництва) виявлення наявності у них важких металів як токсикантів, міграція яких з місць локалізації хвостів збагачення та червоного шламу може спричинити наднормативне забруднення об'єктів довкілля. Дослідження виявили наявність у хвостах збагачення сполук ВМ у концентраціях, які у багатьох випадках перевищували їхні кларкові рівні та ГДК у ґрунті.

Високий вміст заліза у хвостах збагачення усіх ГЗК (рис. 3) зумовлений тим, що вихідною сировиною у процесі збагачення є залізна руда, а технології збагачення недосконалі, внаслідок чого значна кількість заліза (особливо те залізо, що на момент збагачення перебувало у малорухомих формах) залишається у хвостах збагачення і з пульпою надходить до хвостосховища, що дає підстави у перспективі розглядати його як техногенне родовище заліза.

Гігієнічно значущим є перевищення ГДК марганцю у хвостах збагачення Центрального та Інгулецького ГЗК (рис. 4). Через дуже низький ГДК марганцю в атмосферному повітрі за високого ГДК цього металу у ґрунті. Таке співвідношення (0,001 мг/м^3, 1500 мг/кг) робить високий вміст марганцю у хвостах збагачення небезпечним під час вітрової емісії їх, що зазвичай не враховується розробниками розділів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) проектів реконструкції хвостосховищ. Розрахунки розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря, як правило, не враховують наявності важких металів у складі хвостів збагачення, і пил хвостів розглядається як пил з вмістом 20-70% діоксиду кремнію або як пил, не диференційований за складом, що, на нашу думку, є недостатнім, оскільки ГДК в атмосферному повітрі ВМ є суттєво нижчими за ГДК силікатного пилу та пилу не диференційованого за складом.

Вміст цинку та нікелю у хвостах збагачення ГЗК України також суттєво перевищує кларкові рівні цих металів, а у багатьох випадках багаторазово перевищує їхні ГДК у ґрунті (рис. 5, 6).

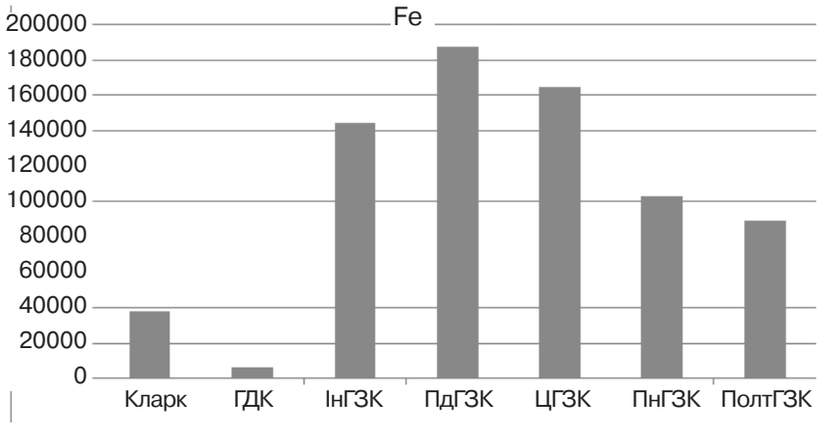
При аналізі рівня забруднення ґрунту у зонах впливу хвостосховищ та накопичувачів червоного шламу виявлено, що навколо хвостосховищ за роки їх експлуатації сформувався ареал забрудненого сполуками важких металів ґрунту. При цьому відстежується зв'язок між вмістом важких металів у хвостах збагачення хвостосховищ різних ГЗК та рівнем забруднення ґрунту у зонах впливу цих хвостосховищ. У тих ГЗК, де у хвостах збагачення найбільші концентрації ВМ, у ґрунті прилеглих територій також відзначаються найбільші концентрації цих же ВМ. Цей зв'язок виявлено для цинку, нікелю, марганцю.

Крім того, виявлено, що для деяких ВМ (заліза, нікелю, кадмію, цинку) спостерігається тенденція до зменшення вмісту цих ВМ у пробах ґрунту у разі збільшення відстані від дзеркала хвостосховищ ГЗК, а це, на нашу думку, підтверджує, що аерогенний шлях міграції цих забруднювачів з місць їх локалізації є переважаючим.

Дослідженнями також встановлено, що рівень забруднення ґрунту у зоні впливу накопичувачів червоного шламу глиноземного заводу є помірним. Вийнятково високий вміст заліза у ґрунті на прилеглих до шламосховища № 2 МГЗ територіях фіксувався у нетривалий період після аварійного виносу червоного шламу з цього сховища за несприятливих метеоумов. При

Рисунок 3

Вміст заліза у хвостах збагачення ГЗК України



цьому відстань, на якій спостерігались аномально високі концентрації заліза у ґрунті, сягала 6 км від шламосховища, що свідчить про дуже високу спроможність червоного шламу до аерогенної міграції за певних умов.

Біотестування ґрунту, забрудненого хвостами збагачення залізної руди та червоним шламом глиноземного виробництва, виявило, що ці промислові відходи під час надходження у ґрунт у значних кількостях (від 5-10%) негативно впливають на родючі властивості ґрунту. При цьому слід відзначити, що особливості впливу цих промислових відходів на ґрунт помітно відрізняються. Так, хвости збагачення залізної руди у ґрунті за проростковим тестом зменшують кількість пророслого насіння. Акумуляція ґрунтом сполук ВМ суттєво підсилює цей ефект. Дослідження показали, що наявність у ґрунті цинку та нікелю у кількостях, що перевищують ГДК цих металів у ґрунті, у комбінації з надходженням у ґрунт хвостів збагачення на 30-45% зменшує схожість насіння.

Рисунок 4

Вміст марганцю у хвостах збагачення ГЗК України

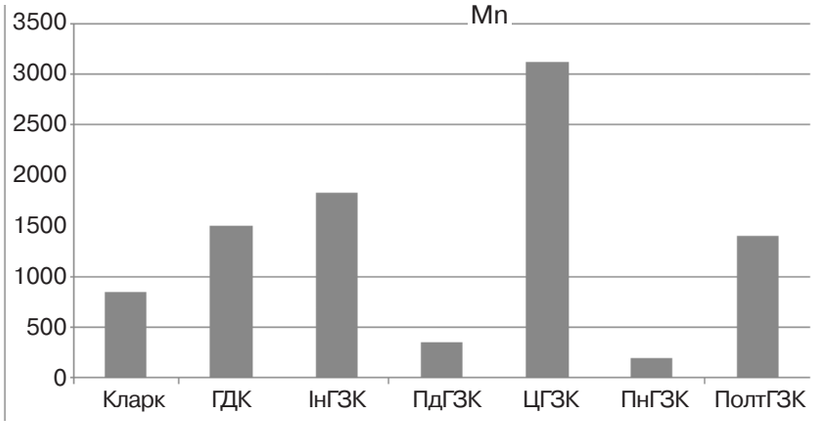


Рисунок 5

Вміст цинку у хвостах збагачення ГЗК України

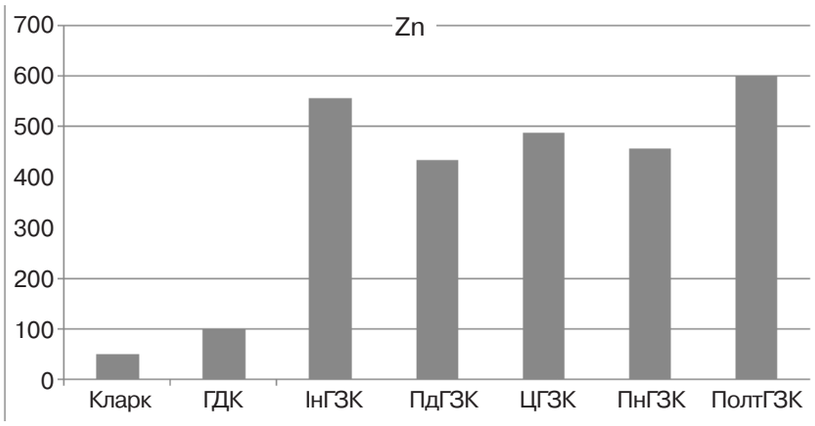
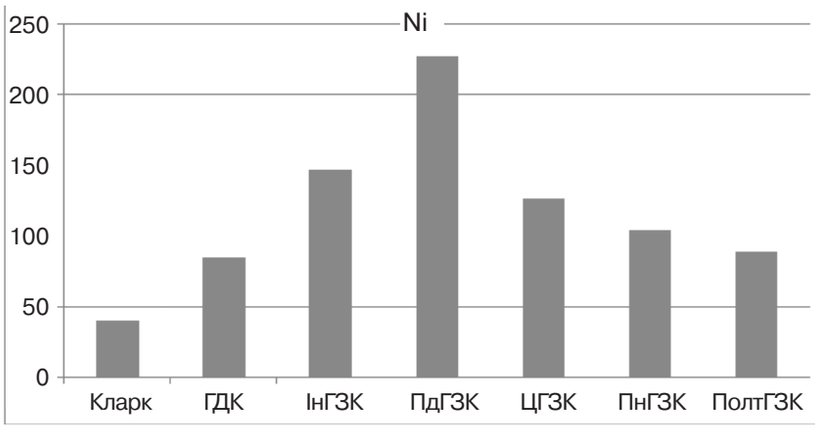


Рисунок 6

Вміст нікелю у хвостах збагачення ГЗК України



Вплив червоного шламу на родючі властивості ґрунту проявляється по-іншому: наявність червоного шламу у ґрунті спочатку навіть дещо збільшує кількість пророслого насіння порівняно з контролем. Але при цьому значна кількість паростків виявляється нежиттєздатною і гине протягом перших трьох діб з початку експерименту. При 30% вмісті червоного шламу у ґрунті загинуло більше половини паростків гірчиці і крес-салату.

Крім того, дослідження виявили, що хвости збагачення та червоний шлам за вмісту у ґрунті від 5% і вище негативно впливають на ферментативну активність ґрунту. Так, хвости збагачення у разі надходження у ґрунт сумісно зі сполуками ВМ у кількостях, що перевищують їхні ГДК у ґрунті, пригнічують дегідрогеназну активність ґрунту на 22-35% порівняно з контролем.

Червоний шлам також негативно впливає на ферментативну активність ґрунту. Дослідження виявили, що дегідрогеназна активність ґрунту на 14-ту добу спостережень (у фазі стабілізації чисельності геомікробіоценозу) за вмісту у ґрунті 30% червоного шламу знижується на 33% порівняно з контролем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трахтенгерц Г.А. Дослідження впливу флотореагентів на проникність хвостів збагачення / Г.А. Трахтенгерц, В.В. Станкевич, В.Ф. Бабій // Гігієна населених місць. — 2007. — Вип. 49. — С. 150-153.

2. Федорова І.А. Технологічна мінералогія відходів збагачення Північного гірничо-збагачувального комбінату Криворізького басейну : автореф. дис.: спец. 04.00.20 "Мінералогія, кристалографія" / І.А. Федорова. — Кривий Ріг, 2004. — 17 с.

REFERENCES

1. *Trakhtengerts G.A., Stankevych V.V., Babii V.F.* Doslidzhennia vplyvu flotoreahentiv na pronyklyvist khvostiv zbahachennia [Investigation of Flotation Reagents Effect on Tailings Discernment]. In : Hihiyena naselenykh mists [Hygiene of Settlements]. Kyiv ; 2007 ; 49 : 150-153 (in Ukrainian).

2. *Fedorova I.A.* Tekhnolohichna mineralohiia vidkhodiv zbahachennia Pivnichnoho hirnycho-zbahachuvalnoho kombinatu Kryvorizskoho baseinu [The Technological Mineralogy of Enrichment Waste on Kryvyi Rig North Mining Basin : PhD Thesis in Geology Sciences] : avtoref. dys. ... kand. heol. nauk. — Kryvyi Rih, 2004. — 17 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 18.08.2014