

УДК 504.05

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОСІДАННЯ ЗАСОЛЕНИХ ҐРУНТІВ В РАЙОНАХ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ ПРИКАРПАТТЯ

Я. М. Семчук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна. E-mail: bzhd@nung.edu.ua

Л. Я. Побережна

Івано-Франківський національний медичний університет
вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: dlya2906@gmail.com

Зменшення кількості земельних ділянок, які придатні для забудови мотивує забудовників використовувати для спорудження структурно-нестійкі ґрунти, зокрема засолені. Проаналізовано хімічний склад засоленних ґрунтів, за результатами якого виділено основні групи солей та умовно поділено ґрунти на монозасолені та полізасолені. Запропоновано концепцію спрощеного математичного моделювання просідання ґрунтів внаслідок вилугування для випадків моно- та полізасолення. Встановлено взаємозв'язок між рівнем дисперсності солей та швидкістю їх вилугування і показано, що в загальному швидкість розчинення пропорційна загальній площі поверхні розділу фаз «сіль-розчинник». В подальшому необхідно, з урахуванням польових досліджень, провести уточнення математичної моделі та її адаптацію до реальних умов.

Ключові слова: засолені ґрунти, цивільне будівництво, родовища калійних солей, вилугування солей, моделювання просідання, монозасолення, полізасолення, Калуський промисловий район.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОСЕДАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ҐРУНТОВ В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ ПРИКАРПАТЬЯ

Я. М. Семчук

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина. E-mail: bzhd@nung.edu.ua

Л. Я. Побережная

Ивано-Франковский национальный медицинский университет
ул. Галицкая, 2, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. E-mail: dlya2906@gmail.com

Уменьшение количества земельных участков, пригодных для застройки мотивирует застройщиков использовать для сооружения структурно-неустойчивые ґрунты, в частности засоленные. Проанализирован химический состав засоленных ґрунтов, по результатам которого выделены основные группы солей и проведено условное разделение ґрунтов на монозасоленные и полизасоленные. Предложена концепция упрощенного математического моделирования проседания ґрунтов вследствие выщелачивания для случаев моно- и полизасоления. Установлена взаимосвязь между уровнем дисперсности солей и скоростью их выщелачивания и показано, что в общем скорость растворения пропорциональна общей площади поверхности раздела фаз «соль-растворитель». В дальнейшем необходимо, с учетом полевых исследований, провести уточнение математической модели и ее адаптацию к реальным условиям.

Ключевые слова: засоленные почвы, гражданское строительство, месторождения калийных солей, выщелачивание солей, моделирование проседания, монозасоление, полизасоление, Калушский промышленный район.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В умовах сучасної економічної ситуації житлове будівництво розвивається у надшвидкому темпі. Зменшення кількості придатних для забудови земельних ділянок призводить до будівництва на структурно-нестійких ґрунтах, зокрема засоленних [1].

Засолені ґрунти Прикарпаття в знаходяться в районах розробки Калуш-Ґолинського родовища калійних солей. Ареал засолення розповсюджується на територію м. Калуш та навколишніх сіл, зокрема Кадобна, Тужилів, Пійло, Ґолинь, Сівка –Калуська та ін.. У інших населених пунктах рівень засоленості значно нижчий і його впливом на процеси просідання в ґрунтах можна знехтувати [2].

ДП «Калійний завод» був побудований в 1965-1967 рр. для розробки Калуш-Ґолинського родовища калійних солей та їх комплексної переробки. На даний час функціонування складного технологічного комплексу включає рудники «Калуш», «Ґолинь» та «Ново-Ґолинь»; солевідвали шахтних полів, Домбровський кар'єр та хвостосховища.

Проаналізувавши причини уповільнення стоку та активності ґрунтових вод на згаданих об'єктах можна прийти до висновку, вилугування розчинних солей значно порушує рівновагу напруженого стану гірських порід, просідаючої поверхні та є однією з основних причин виникнення руйнівних деформацій земної поверхні та споруджених на даних ділянках об'єктів промислового та цивільного будівництва [3].

В цілому, основними джерелами погіршення екологічної безпеки в Калуському районі є:

- Домбровський кар'єр та його відвали;
- рудник «Калуш»;
- рудник «Ґолинь»;
- рудник «Ново – Ґолинь»;
- хвостосховища.

За даними моніторингу, щорічно під впливом інфільтрації води виробляється до 300000 м³ розсолів із вмістом солі 127-240 г/дм³ (вилугування солей до 200 т/добу), які забруднюють джерела водопостачання м. Калуш.

Хвостосховища №1 і №4 – це постійні джерела забруднення ґрунту, поверхневих і ґрунтових вод з мінералізацією до 5,5 г/л. Під час розробки загальна кількість покладів, вилучених з гірського масиву склала близько 19 млн м³. Вони були закладені, в більшості випадків, у відповідності з існуючими на той час вимогами, максимально інертними матеріалами для запобігання просідання поверхні і підвищити водообмін.

Хвостосховища №1 і №2 (загальна потужність 24800000 м³) площею 10 км² володіють складною фізичною та хімічною структурою покладів та прогресуючим розвитком водно-хімічного забруднення підземних вод. Характерною для них також є активізація карстових та суфозійних процесів, які призводять до ерозії дамб. Площа гідрозабруднення ґрунтових вод за різними оцінками більше 1,5 км², а мінералізація змінюється від 10,6 до 54,3 г/дм³, що в десять разів вище, ніж базові показники [4].

Рудник «Калуш» є складним гірничим комплексом, який розроблявся впродовж 1867-1978 років зі значними змінами в технологіях та структурі видобутку. Він складається з:

- Центрального шахтного поля;
- Хотінського шахтного поля;
- Північно-каїнітового шахтного поля;
- Північно-сильвінітового шахтного поля.

Протягом 1975-2002 років в межах Центрального та Північно-каїнітового шахтних полів спостерігалось просідання земної поверхні [5].

Заповнення отворів ненасиченими сольовими розчинами несе у собі загрозу руйнувань міжкамерних ціликів та подальше збільшення руйнівного осідання поверхні, переміщення і прискорення міграції розсолу в зоні активного водообміну водоносних горизонтів з подальшим витоком у річкову систему. Хотінське шахтне поле, в межах якого розташоване с. Хотінь, залишилось незатопленим. Якщо взяти до уваги підвищене проникнення підземних вод в межах с. Хотінь і розташування дрібних гірничих виробок (70-100 м), ми можемо припустити ймовірність катастрофічно високого викиду в акваторію річки Лімниця [6].

Сучасне просідання земної поверхні в межах шахтних виробок буде варіюватися від 0,5 до 5,1 м, а за прогнозами досягне 7,1 до 9,1 м, що істотно погіршить інженерно-геологічні умови Калуського промислового району відносно у зв'язку з активізацією процесів карстової суфозії.

Рудник «Голинь» експлуатувався протягом 1930-1972 рр. з утворенням близько 1,7 млн. м³ порожнини. Ліквідація шахти почалася в 1996 році. За даними Державного Департаменту екологічної безпеки в Івано-Франківській відбувається затухання просідань (для досягнення сучасного просідання до 30 мм/рік), при максимальному зниженні на 3,5 м та з прогнозними значеннями 4,9 м.

Рудник «Ново-Голинь» розроблявся у 1966-1995 роках з утворенням протягом цього періоду 12 млн. м³ виробок. Ліквідація шахти почалася в 1996 році, основним технологічним ресурсом була поставка близько 7,2 млн. м³ сольових розчинів (60% від загального видобутку).

Аналіз просторово-часової динаміки формуючих екологічних процесів показує, що основними небезпеками для здоров'я у м. Калуш є незворотне порушення стабільності геологічного середовища і трансформації екологічної і техногенної катастрофічної ситуації від національного до транскордонного рівня [7].

Метою роботи є створення спрощених математичних моделей для оцінки ризику просідання засоленних ґрунтів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Осідання поверхні над гірничими виробками, що затоплюються, у більшій мірі пов'язані з погіршенням їх геомеханічної стійкості внаслідок поверхневого вилуговування ціликів та дифузійного зволоження порід у зоні контакту з недостатньо насиченими розчинами [8].

Особлива небезпека полягає в тому, що на території шахтних полів відпрацьованих рудників розташовані:

- 256 житлових будинків і промислових об'єктів міста Калуша (центральна і північна частини);
- 109 житлових будинків с. Хотінь, з яких 18 будинків уже знесено і люди переселені та 7 споруд промислового призначення на вентстволі «Хотінь»;
- 285 житлових будинків, 7 промислових споруд с. Кропивник;
- 304 житлові будинки, 16 промислових споруд с. Сівка-Калуська.

У середині 80-х років у м. Калуш відселили цілий мікрорайон по вул. Вітовського. Близько 36 новобудов розібрали, а людей переселили в безпечніші райони міста. Останні провали в цьому районі фіксувалися у 2001 році.

Досвід будівництва різних будівель і споруд доводить, що всі вони тим чи іншим чином схильні до деформацій, які відбуваються внаслідок переміщення часточок ґрунту [9].

Основні причини деформації можна розділити на дві групи:

- загальні причини, пов'язані з особливостями фізико-механічних властивостей ґрунтів, які є основою фундаменту споруди;
- часткові причини, пов'язані з особливостями проведення будівельних робіт та режиму експлуатації.

Однією з найбільших небезпек є просідання ґрунтів основи під фундаментами об'єктів житлового та цивільного будівництва. Одним з найважливіших чинників є тип ґрунту основи [10].

При розрахунку можливих просідань використовували методику, описану в ДБН В.2.1.-10-2009.

Розглянемо можливі просідання споруд, які розташовані на засоленних ґрунтах.

Нехай маємо рівномірне дифузійне засолення в межах кожного шару ґрунту. Розглянемо ґрунтовий масив, поділений на *i* шарів з умовою ізотропії фізико-механічних властивостей кожного шару.

Тоді просідання за умови повного вилуговування становитиме:

Випадок 1 – засолення викликане однією хімічною сполукою (каїніт) – моно засолення (рис. 1, а). Тоді просідання за умови повного вилуговування та без урахування ущільнення ґрунту внаслідок обводнення становитиме

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{D_{sal_i} \cdot \rho_{грунту_i} \cdot h_i}{\rho_{sal}}, \quad (1)$$

де H – просідання при повному вилугуванні солей без урахування обводнення;

D_{sal_i} – концентрація солі в i -тому шарі ґрунту;

$\rho_{грунту_i}$ – густина i -го шару ґрунту;

h_i – висота i -го шару ґрунту;

ρ_{sal} – густина солі.

Випадок 2 – засолення викликане j хімічними сполуками – полі засолення (рис. 1, б). Тоді просідання за умови повного вилугування та без урахування ущільнення ґрунту внаслідок обводнення

становитиме для кожного шару ґрунту

$$H = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m \frac{D_{sal_{ij}}}{\rho_{sal_j}} \right) \cdot \rho_{грунту_i} \cdot h_i, \quad (2)$$

де H – просідання при повному вилугуванні солей без урахування обводнення;

$D_{sal_{ij}}$ – концентрація j -тої солі в i -тому шарі ґрунту;

$\rho_{грунту_i}$ – густина i -го шару ґрунту;

h_i – висота i -го шару ґрунту;

ρ_{sal_j} – густина j -тої солі.

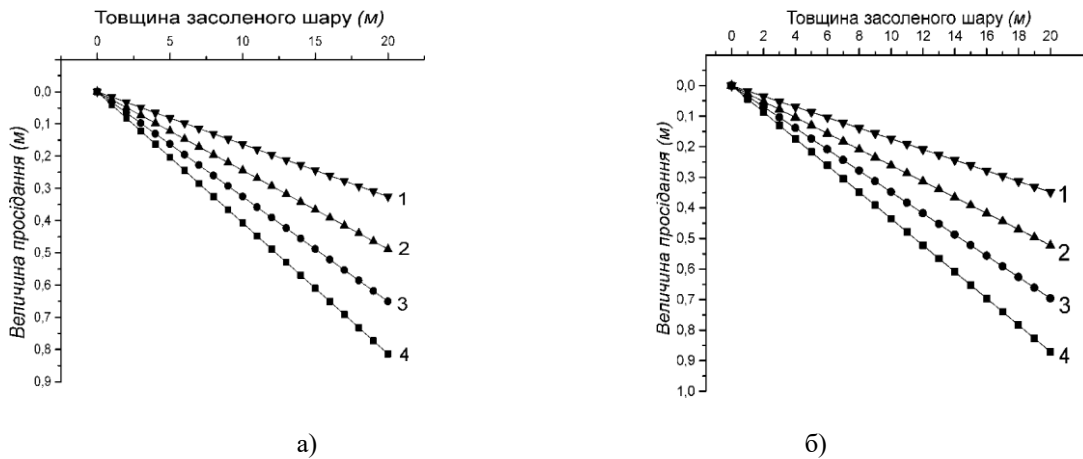


Рисунок 1 – Залежність глибини просідання від рівня та глибини засоленості: а) у випадку монозасолення; б) у випадку полізасолення; 1 – $D_{sal}=0,02$; 2 – $D_{sal}=0,03$; 3 – $D_{sal}=0,04$; 4 – $D_{sal}=0,05$

Малорозчинними сполуками, а отже і малими деформаціями при вилугуванні нехтуємо.

За результатами аналізу хімічного складу засолених ґрунтів визначено основні засолюючі компоненти: каїніт, галіт, карналіт, K_2SO_4 , $MgSO_4$.

За розчинністю солей у воді поділимо їх на три типи:

I – $MgSO_4 + K_2SO_4$;

II – галіт + каїніт;

III – карналіт.

Прийmemo, що кількість солей, які будуть вилугувані прямо пропорційна їх розчинності в воді.

Тоді вагові коефіцієнти для солей становитимуть для I типу – 0,425, для II типу – 0,2 та для III типу – 0,375 (рис. 2).

Згідно аналізу гранулометричного складу середній радіус частинок солі складав $2,5 \cdot 10^{-5}$ м, а частинок ґрунту – $7,5 \cdot 10^{-5}$ м.

Відповідно співвідношення площі стикання солі і ґрунту з водою становитиме **1:9**. Тому в математичній моделі ми робимо наступне припущення.

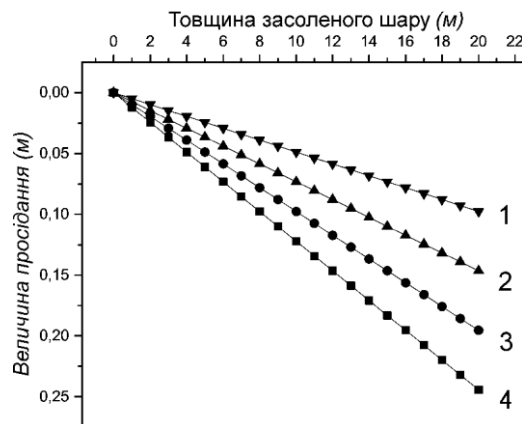


Рисунок 2 – Залежність глибини просідання від рівня та глибини засоленості з урахуванням вагових коефіцієнтів: 1 – $D_{sal}=0,02$; 2 – $D_{sal}=0,03$; 3 – $D_{sal}=0,04$; 4 – $D_{sal}=0,05$

На початковому етапі в розчиненні солей бере участь лише 10% води, яка фільтрується через ґрунт. У процесі розчинення ця частка буде зменшуватися по причині зменшення ефективного раді-

усу частинок солі. Тоді швидкість вилуговування буде прямо пропорційна сумарній площі, а швидкість просідання – сумарному об'єму частинок солі (рис. 3).

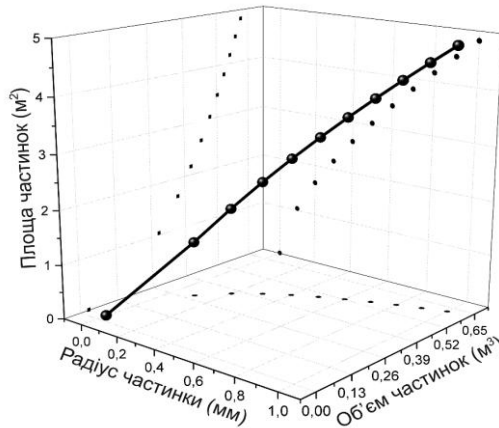


Рисунок 3 – Взаємозв'язок радіуса, площі та об'єму частинок.

Таким чином величина просідання в певний момент часу буде рівною добутку величини повного просідання на коефіцієнт, взятий із рис 3.

Експериментально встановлено також взаємозв'язок між швидкістю фільтрації та швидкістю вилуговування для випадку дисперсного монозасолення (рис. 4).

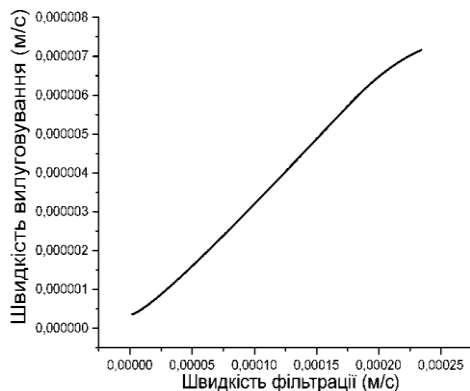


Рисунок 4 – Взаємозв'язок швидкостей фільтрації та вилуговування.

На даний час відсутня строга математична постановка задачі напружено-деформованого стану масиву водонасиченого засоленого ґрунту, тому в подальшому необхідно удосконалити пропоновану модель шляхом урахування просідань в результаті обводнення та ущільнення частинок ґрунту.

ВИСНОВКИ.

1. Проаналізовано характер і причини просідань ґрунту в районі розробки родовищ калійних солей Івано-Франківської області.

2. Запропоновано спрощену математичну модель просідання засоленого ґрунту внаслідок вилуговування для випадків моно- і полізасолення.

3. Встановлено взаємозв'язок між рівнем дисперсності солей та швидкістю їх вилуговування і показано, що в загальному швидкість розчинення пропорційна загальній площі поверхні розділу фаз «сіль-розчинник».

4. Досліджено взаємозв'язок швидкостей фільтрації та вилуговування для випадку дисперсного монозасолення. Проведено відповідні модельні експерименти та одержано аналітичну залежність.

5. В подальшому необхідно, з урахуванням польових досліджень, провести уточнення математичної моделі та її адаптацію до реальних умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наукові основи техногенно-екологічної безпеки. Електронний ресурс : Монографія / Д.В. Зеркалов, М.Д. Кацман, М.І. Адаменко, О.Г. Радкевич, Т.В. Пічкур. За редакцією Д.В. Зеркалова – Електрон. дані. – К.: Основа, 2014.

2. Грищенко М.М. Розрахунок осідань та деформацій земної поверхні від впливу просідаючих ґрунтів на підроблюваних територіях // Проблеми гірського тиску. – 2011. – Вип. 19. – С. 6–26.

3. Кузьменко Е.Д., Багрій С.М. Геолого-геофізична характеристика Калуш-Голинського родовища калійної солі // «Геофізичні методи дослідження проблем довкілля». – 2010. – № 1. – С. 147–152.

4. Садовенко І.А., Деревягіна Н.І. Експериментальні дослідження суффізионних і ерозійних деформацій лессових ґрунтів // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Випуск 4 (81). – С. 129–134.

5. Семчук Я.М., Савчук Л.Я. Екологічні проблеми калузького гірничопромислового регіону та шляхи їх вирішення // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010. – № 1. – С. 64–69.

6. Семчук Я.М., Долішня Л.Я. Динаміка коефіцієнта фільтрації засоленних ґрунтів в процесі вилуговування // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр. — К.: 2009. – Вип. 3. – С. 59–66.

7. Аналіз та систематизація існуючих методів оцінювання ступеня екологічної небезпеки / М.С. Мальований, В.М. Шмандій, О.В. Харламова, Л.І. Челядин та інш. // Науковий журнал «Екологічна безпека». – 2013. – Випуск 1/2013 (15). – С. 37–44.

8. A Joint United Nations – European Commission Environmental Emergency Response Mission. Technical Scoping Mission, Kalush Area, Ukraine, March 2010.

9. Головчак В.Ф. Стан гірничопромислових геокомплексів Калуш-Голінського родовища калійних

солей та заходи для їх екологічної оптимізації // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010. – №2. – С. 4–13.

10. Преснов О.М., Ереско С.П. Расчеты суффозионных деформаций грунтов // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – № 4. – С. 75–79.

MODELING OF THE PROCESSES OF SALINE SOILS SUBSIDENCE IN THE AREA OF POTASH DEPOSITS MINING IN PRECARPATHIANS.

Ya. Semchuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
vul. Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine. E-mail: bzhd@nung.edu.ua

L. Poberezhna

Ivano-Frankivsk National Medical University
vul. Galytska, 2, Ivano-Frankivsk, 78016, Ukraine. E-mail: dlya2906@gmail.com

Purpose. In the current economic situation the civil housing is developing in super-quick pace. Reducing the amount of land that are suitable for development motivates developers to build on structurally unstable soils, including saline. Subsidence of surface mining, which are flooded, to a greater extent associated with deterioration of geomechanical stability due to surface leaching and diffusion wetting of pillars rocks in the contact area of discoloration solutions. The main goal was to create the simplified mathematical models to assess the risk of saline soils subsidence.

Methodology. Experience in the construction of various buildings proved that they in any way are susceptible to deformations that occur because of displacement of soil particles. One of the biggest dangers is subsidence of soil foundations under the foundation of housing and civil construction. One of the most important factors is the type of soil base. At calculating of possible subsidence the procedure described in V.2.1. GOS-10-2009 was used, and the level of full drawdown is considerably proportionate to amount of dissolved salts. Subsidence due to flooding and soil compaction was not taken into account. **Results.** It was analyzed the chemical composition of saline soils, the results of which highlighted the major groups and salts conventionally divided soils on monosalinity (1 salt salinization - kainite) and polisalinity (5 major components salinization). A simplified mathematical model of subsidence for mono- and polisalinity soils is presented. The experimental data are calculated relative weights of components solubility for polisalinity soil. The relation between the level of dispersion of salts and their rate of leaching is determined and it shows that the total rate of dissolution is proportional to total area of the interface “salt-solvent”. In the future, it is necessary, given the field of research, to clarify the mathematical model and its adaptation to real conditions. **Originality.** The concept of a simplified mathematical modeling of soil subsidence due to leaching in case of mono- and polysalinization is presented. The effect of particle size distribution of soil particle size and the speed of their salts leaching is described. The study of soil particle size distribution and particle size of the salt found patterns of change of velocity dispersion leaching of salts is provided diffusion salinity. **Practical value.** A prediction of subsidence value of the saline soils if Kalush district, depending on the depth and type of salinity, was done. Referenses 10, figures 4.

Key words: saline soils, civil engineering, deposits of potassium salts, Kalush leaching of salts, subsidence modelling, monosalinization, polisalination, Kalush industrial area

REFERENCES

1. Zerkalov, D.V., Katsman, M.D., Adamenko, M.I., Radkevych, O.H. and Pichkur, T.V. (2014), *Naukovi osnovi tehnogenno-ekologichnoyi bezpeki: Monografiya* [Scientific basis of technogenic and ecological safety: monograph], Osnova, Kiev, Ukraine.

2. Hryshchenkov, M. (2011), "Calculation of subsidence and deformation of the earth's surface from the effects of soil subsidence in areas with mining works", *Problemy girskogo tysku*, vol. 19, pp. 6–26.

3. Kuzmenko, E., Bagriy, S. (2010), "Geological and geophysical characteristics Kalush-Holyn potassium salt deposits", *Heofizychni metody doslidzhennya problem dovkilliya*, no. 1, pp. 147–152.

4. Sadovenko, I., Dereyagina, N. (2013), "Experimental studies of erosion and suffosion strains of loess soils", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 4 (81), pp. 129–134.

5. Semchuk, Ya, Savchuk, L. (2010), "Environmental problems Kalush mining region and their solutions", *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resurso-korystuvannia*, no 1, pp. 64–69.

6. Semchuk, Ya., Dolishnya, L. (2009), "Dynamics of filtering saline soils in the leaching", *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia: Zbirnyk naukovykh prats*, vol. 3, pp. 59–66.

7. Malovanyy, M., Shmandiy, V., Kharlamov, A., Chelyadyn, L., Sakalova, G. (2013), "Analysis and systematization of the existing methods of evaluating the degree of environmental hazard", *Ecological safety*, iss. 1/2013 (15), pp. 37–44.

8. A Joint United Nations - European Commission Environmental Emergency Response Mission. Technical Scoping Mission, Kalush Area, Ukraine, March 2010.

9. Holovchak, V.F. (2010), "State geological mining complexes Kalush-Holyn deposit of potassium salts and measures for their ecological optimization", *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resurso-korystuvannia*, no.2, pp. 4–13.

10. Presnov, O., Eresko, S. (2009), "Calculations suffosion deformations of soils", *Sistemy. Metody. Tehnologii*, no. 4, pp. 75–79.

Стаття надійшла 24.09.2015.