

УДК 504.05

Л. Побережна<sup>1</sup>; Л. Побережний<sup>2</sup>, докт. техн. наук

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний медичний університет

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## ВПЛИВ РІВНЯ ЗАСОЛЕНОСТІ ҐРУНТІВ НА ОПІР ДЕФОРМАЦІЯМ СТИСКУ

**Резюме.** Погіршення екологічного стану оточуючого середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на територіях розробки калійних родовищ Прикарпаття, визначає необхідність вивчення екологічних небезпек та ризиків. Неефективна консервація рудників призвела до утворення провалів ґрунту, руйнування житлових будинків та промислових споруд. Проблема забезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засоленіх територіях. Наявність у ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засоленіх ґрунтів відбувається розчинення і винесення солей, які в них містяться, і відповідно до цього збільшується пористість ґрунту. За результатами розрахунків отримано залежності концентрації солей в рідині й питомого об'єму солей по товщині ґрунту з плином часу для випадків дисперсного та плівкового засолення. Побудовано кінетичні криві суфозійного просідання для дисперсного та плівкового типів засолення, використання яких дасть змогу прогнозувати й контролювати просідання засоленіх ґрунтів техногенно навантажених територій.

**Ключові слова:** техногенно навантажені території, калійні родовища Прикарпаття, засолені ґрунти, вилуговування солей, суфозійне просідання.

L. Poberezhna, L. Poberezhny

## INFLUENCE OF SOIL SALINIZATION LEVEL ON COMPRESSIVE STRAIN RESISTING

**Summary.** The deterioration of the ecological state of the environment and health of the population living in developing Carpathians deposits of potassium, determines the need to study environmental hazards and risks. The problem of exploration and construction a significant land area is of importance in the conditions of modern society development. Great competition, high density of buildings and insufficient volume of land fund resulted in the use of structurally unstable soils under construction. In the industrial area of Kalush, Ivano-Frankivsk region, large area is occupied by saline soils, which belong to the district of development of Kalush-Holynska potassium salts deposits. The ineffective conservation of mines led to the formation of ground dips and destruction of civil and industrial buildings. The problem of insurance of civil and industrial buildings destruction currently is one of the major. While designing buildings, which are located in the area of the mine workings harmful impact, the State building standards of Ukraine and international standards must be taken into account. Study of foreign experience enables prediction of stability of buildings foundations constructed on saline areas. The presence of different quantitative composition of salts in soils affects the deformation parameters of soils. When saline soils are moistening the dissolution and removal of salts which they contain occurs, and accordingly the soil porosity increases. According to the results of calculations dependences between the concentration of salts in the liquid have been received and the specific amount of salt on the thickness of the soil with time in cases of disperse and pellicle salinity. Kinetic curves of suffusion subsidence to disperse and pellicle types salinity were built, the use of which will allow to predict and control subsidence of technologically loaded areas saline soils.

**Key words:** technologically loaded areas, potash deposits Precarpathians, saline soils, salts leaching, suffusion subsidence.

**Постановка проблеми.** Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем на сучасному етапі розвитку суспільства. Погіршення екологічного стану

навколишнього середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на даних територіях, визначає необхідність вивчення екологічних небезпек і ризиків.

В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій. Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до використання під будівництво структурно-нестійких ґрунтів. У Калуському промисловому районі Івано-Франківської області великі площі займають засолені ґрунти, які належать до району розробки Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Калійні родовища Прикарпаття представлені Калуш-Голинським родовищем, розміщеним у Калуському районі Івано-Франківської області та Стебницьким родовищем, яке знаходиться неподалік м. Стебник у Львівській області. Калуш-Голинське родовище калійних солей а зокрема Домбровський кар'єр, шахтні поля підземного видобутку калійних солей та солевідвали разом з хвостосховищами хімічної фабрики є основними джерелами забруднення.

Неефективна консервація рудників призвела до утворення провалів ґрунту та руйнування житлових будинків і промислових споруд. Перші провали спостерігалися у м. Калуш у 80-х роках ХХ ст. Тоді під землю провалилися кілька житлових будинків. Протягом усього часу спостережень утворюються нові провали, які несуть велику небезпеку для населення. Схожою є ситуація у м. Стебник, де перші провали утворилися у 1983 році та призвели до екологічної катастрофи.

Розроблення родовищ калійних солей спричинила осідання поверхні, утворення підземних і поверхневих карстових форм, кількість яких з часом зростає через складні гідрогеологічні умови рудників. На території Калуш-Голинського родовища калійних солей знаходяться Домбровський кар'єр, хвостосховища, солевідвали, шахтні поля, рудники «Калуш» та «Ново-Голинь».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даному етапі поверхня рудних полів ліквідованої шахти «Калуш» знаходиться у стані перетворення внаслідок процесу зрушення земної поверхні ускладненого карстово-провальними проявами. На даний час відселено 40 будинків. Над виробками і в зоні їх впливу знаходиться село Хотінь, яке забудоване одно і двоповерховими житловими будинками та іншими спорудами. Оскільки в центрі мульди проходить заболочування та підтоплення земної поверхні, ВАТ «Оріана» проведено відселення мешканців 26 будинків, усього в зону впливу потрапляє 109 будинків. Процес зсуву над полем знаходиться в стадії затухання. Однак існує небезпека прориву вод р. Лімниця у відпрацьований простір, ліквідацію якого не було проведено, що призведе до катастрофічних наслідків аналогічно до Північного каїнітового поля. У мульду просідання поля потрапляють 268 житлових будинків та школа, з них 104 будинки будуть підтоплені [1].

Проблема забезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. При проектуванні споруд, які знаходяться у зоні шкідливого впливу гірських виробок, необхідно враховувати діючі Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти, котрі застосовуються при будівництві споруд [2].

При виборі майданчика під будівництво необхідно враховувати, що на ньому:

- а) немає покладів калійних солей;
- б) залягають непромислові запаси;
- в) поклади вироблені, процес деформації земної поверхні завершився і після стабілізації деформації виключається можливість появи воронок і провалів;
- г) виробка шахт очікується після завершення амортизаційного періоду споруди [3].

Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засолених територіях.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників: межа просідання, щільність скелету ґрунту на межі просідання, величина відносного лінійного та об'ємного просідання.

Просідання ґрунту часто визначають розрахунковим шляхом, використовуючи для цього або метод М.Я. Денисова, згідно з яким об'ємне просідання ґрунту  $V$  обчислюється за формулою

$$V = \left( 1 - \frac{\rho_d^b}{\rho_d^c} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де  $\rho_d^b, \rho_d^c$  – відповідно вологість скелета вологого і сухого ґрунту, або метод Е.М. Сергеева, згідно з яким об'ємне просідання повністю водонасиченого ґрунту описується рівнянням

$$V = V_c \cdot (1 + \beta_V \cdot W), \quad (2)$$

де  $V$  – об'єм ґрунту при вологості  $W$ ;  $V_c$  – об'єм сухого ґрунту;  $\beta_V$  – коефіцієнт об'ємного просідання, який дорівнює відносному приросту об'єму при зміні вологості на одиницю

$$\beta_V = \frac{V_1 - V_2}{V_2 W_1 - V_1 W_2}, \quad (3)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – значення об'єму ґрунту при вологості відповідно  $W_1$  і  $W_2$ . Межу просідання ґрунту можна обчислити зі співвідношення

$$W_s = \frac{e_s \rho}{\rho_s}, \quad (4)$$

де  $e_s$  – коефіцієнт пористості ґрунту на межі просідання,  $\rho$  – густина вологого ґрунту,  $\rho_s$  – густина твердої частини ґрунту.

На даний час при вивченні механіки ґрунтів відсутня строга математична постановка задачі про напружено-деформований стан масиву водонасиченого засоленого ґрунту та зміни цього стану з урахуванням процесів масообміну та масопереносу між компонентами ґрунту. Це значно сповільнює подальший розвиток методів розрахунку основ, котрі складаються з засолених ґрунтів.

**Мета роботи** – встановлення впливу засоленості ґрунтів на їх опір деформаціям та схильність до просідання.

**Постановка задачі.** Встановлення основних закономірностей вилуговування солей при дисперсному та плівковому засоленнях. Дослідження кінетики суфозійного просідання засоленних ґрунтів техногенно навантажених територій з метою їх подальшого контролю та прогнозування.

**Результати дослідження.** Наявність у ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засоленних ґрунтів відбувається розчинення і винесення солей, які в них містяться, і відповідно до цього збільшується пористість ґрунту. Збільшення ж пористості засоленних ґрунтів при зволоженні в свою чергу призводить до суфозійного просідання.

Для просідання однорідного шару ґрунту у напрямку осі  $X$  маємо формулу (5)

$$S(t) = \int_{h_1}^{h_2} \alpha_0 (\sigma - \bar{\sigma}_0)^{V_0} \frac{\xi_0 - \xi(t)}{\xi_0} dx \quad (5)$$

де  $h_1, h_2$  – відповідно верхня і нижня межі області суфозійної осадки;

$\sigma = \gamma_0 x$  – зміна ущільнюючого навантаження по глибині в умовах природного напруженого стану, МПа;

$\gamma_0$  – питома вага ґрунту в водонасиченому стані, Н/см<sup>3</sup>;

$\alpha_0, V_0$  – параметри нелінійної деформації, які є сталими для однорідної товщі ґрунту;

$\xi(t)$  – функція розподілу питомого об'єму солей, в частках одиниці;

$\bar{\sigma}_0$  – мінімальний тиск, при якому виникає суфозійне осідання ґрунту, МПа [3].

У загальному випадку закон зміни питомого об'єму розчинних солей в ґрунті з глибиною і з часом описується системою рівнянь (6)

$$\begin{cases} Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}; \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k \end{cases} \quad (6)$$

де  $D$  – коефіцієнт конвективної дифузії, см<sup>2</sup>/с;

$C$  – концентрація солей у рідині, г/см<sup>3</sup>;

$\xi$  – питомий об'єм солей в ґрунті, в частках одиниць.

$C_m$  – концентрація насичення води солями даного складу, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma$  – узагальнений коефіцієнт солевіддачі, с<sup>-1</sup>;

$m_0$  – пористість ґрунту;

$v$  – швидкість фільтрації ґрунтової води, см/с;

$\delta$  – щільність солей, г/см<sup>3</sup>;

$k$  – коефіцієнт засолення.

У системі (2)  $k$  набуває значення 0; 0,5; 1. При  $k = 0$  отримуємо випадок плівкового засолення ґрунту; при  $k = 0,5$  або  $k = 1$  – випадок об'ємного (дисперсного) засолення ґрунту [4].

Розглянемо математичну модель задачі з розрахунку концентрації солей у рідині, яка фільтрується, та розрахунку зміни питомого об'єму солей, що містяться в засоленому ґрунті, й суфозійне просідання, яке при цьому виникає.

Для розв'язання цієї задачі використовується система (2) з такими початковими і граничними умовами (7):

$$\begin{cases} C(x, 0) = C_H \\ \xi(x, 0) = \xi_0 \end{cases}, \quad \begin{cases} \frac{\partial C(0, t)}{\partial x} = \frac{v}{m_0 D} (C(0, t) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, t)}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

де  $C_H$  – рівномірний розподіл концентрації солей у рідині в початковий момент часу по товщі ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$C_0$  – концентрація солей у вхідному перерізі ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$\xi_0$  – рівномірний розподіл питомого об’єму солей у ґрунті в початковий момент часу, в частках одиниць;

$l$  – товщина ґрунту, см.

Розв’яжемо систему (6) з початковими і граничними умовами (7) кінцево-різницевим методом.

Розглянемо систему (6) при  $k = 0$  і  $\nu = const$ . Це випадок плівкового засолення ґрунту. Дане завдання зводиться до розв’язання системи диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\partial C}{\partial x} + N(C_m - C) \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{1}{\delta} N(C_m - C) \end{cases} \quad (8)$$

з початковими і граничними умовами (9)

$$\begin{cases} C(\bar{x}, 0) = C_H \\ \xi(\bar{x}, 0) = \xi_0 \end{cases}, \quad \begin{cases} \frac{\partial C(0, \bar{t})}{\partial x} = Pe(C(0, \bar{t}) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, \bar{t})}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

де  $\bar{x} = \frac{x}{l}$  – безрозмірна координата;  $\bar{t} = \frac{\nu \cdot t}{m_0 l}$  – безрозмірний час;  $Pe = \frac{\nu \cdot l}{m_0 D}$  –

критерій Пекле;  $N = \frac{m_0 \gamma \cdot l}{\nu}$  – критерій розчинення.

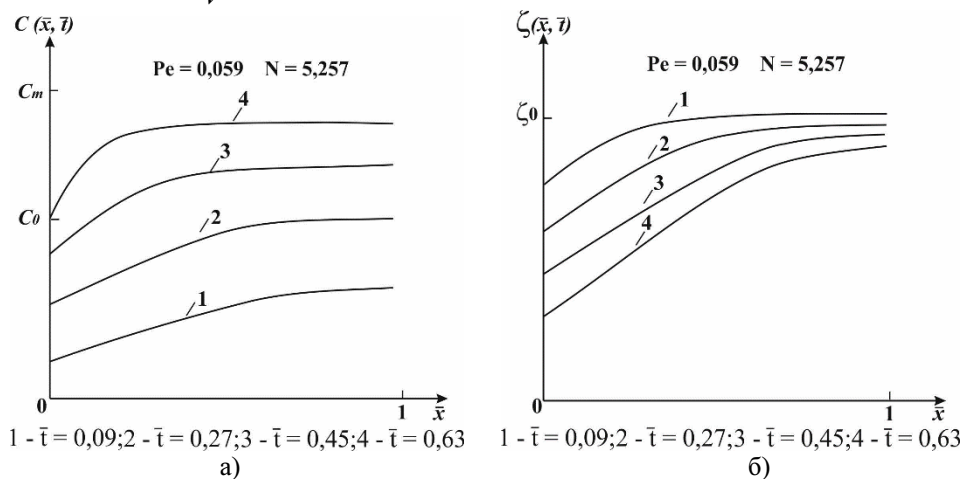


Рисунок 1. Залежність концентрації солей у рідині (а) та їх питомого об’єму в ґрунті (б)

Figure 1. The dependence of the salt concentration in the fluid (a) and their specific volume in the soil (b)

Таким чином, задача (8) – (9) буде залежати тільки від двох безрозмірних критеріїв  $Pe$  і  $N$ . При розрахунках були використані такі дані:  $C_m = 0,025$  г/см<sup>3</sup>,  $C_0 = 0,025$  г/см<sup>3</sup>,  $C_H = 0,075$  г/см<sup>3</sup>. За результатами розрахунків отримані залежності

концентрації солей у рідині (рис. 1, а) і питомого вмісту солей по товщині ґрунту з плином часу (рис. 1 б).

Використовуючи отримані розподіли функції  $\xi(x,t)$ , можна визначити суфозійне просідання ґрунту в часі для природного напруженого стану при плівковому і дисперсному засоленні за формулою (5). Розрахунки проводилися для двох характерних випадків загіпсованого ґрунту  $A=10\%$  (слабозагіпсованого) і  $A=40\%$  (сильнозагіпсованого).

Для  $A=10\%$  маємо такі дані:  $\bar{\sigma}_0 = 0,04 \text{ МПа}$ ,  $\gamma_0 = 0,015 \text{ Н/см}^3$ ,  $\gamma = 0,001 \text{ с}^{-1}$ ,  $\nu = 60 \text{ см/добу}$ ,  $D = 0,208 \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $\delta = 2,65 \text{ г/см}^3$ ,  $C_m = 0,025 \text{ г/см}^3$ ,  $C_0 = 0 \text{ г/см}^3$ ,  $m_0 = 0,6$ ,  $\xi_0 = 0,6$ ,  $h = 10 \text{ см}$ ,  $\nu_0 = 1$ ,  $\alpha_0 = 0,0745 \text{ МПа}^{-1}$ . Для сильнозагіпсованого ґрунту нелінійний коефіцієнт стисливості  $\alpha_0 = 0,376 \text{ МПа}^{-1}$ .

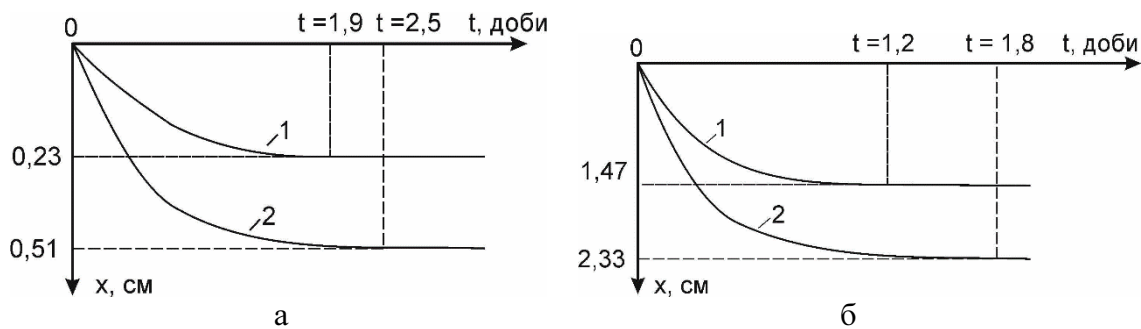


Рисунок 2. Криві суфозійного просідання для слабо- (а) і сильнозагіпсованого (б) ґрунту: 1 – плівкове засолення, 2 – дисперсійне засолення

Figure 2. Suffosion subsidence curves for low- (a) and high gypsum (b) ground: 1 – film salinity, 2 – dispersion salinity

За результатами розрахунків були побудовані графіки кінетики суфозійного просідання для плівкового і дисперсного засолення для слабо- (рис. 2а) та сильнозагіпсованого ґрунту (рис. 2б).

Як бачимо з наведених залежностей, слабозагіпсовані ґрунти дають менші деформації в порівнянні з сильнозагіпсованими. Так само для сильнозагіпсованих ґрунтів характерною є порівняно швидка стабілізація деформації, за якої процес суфозійного просідання припиняється.

Дані дослідження проводилися для засолених загіпсованих ґрунтів, які розповсюджені в районі м. Стебник. Однак у загальному залежності можуть бути використані й для Калуш-Голинського родовища після незначної адаптації та експериментальної перевірки в польових умовах.

**Висновки.** Проаналізовано характер та причини просідань ґрунту у районах розробки родовищ калійних солей Прикарпаття. За результатами розрахунків отримано залежності концентрації солей у рідині й питомого об'єму солей по товщині ґрунту з плином часу для випадків дисперсного та плівкового засолення. Побудовано кінетичні криві суфозійного просідання для дисперсного та плівкового типів засолення, використання яких дасть змогу прогнозувати та контролювати просідання засолених ґрунтів техногенно навантажених територій.

У подальшому планується розвиток математичних моделей у напрямку їх універсалізації та адаптації розрахунків до умов експлуатації калійних родовищ Прикарпаття.

**Conclusions.** The nature and causes subsidence soil in areas of Precarpathians potash deposits. The calculations obtained depending on the concentration of salts in the liquid and the specific amount of salt thickness of soil over time for cases disperse and film salinity.

Powered kinetic curves for particulate suffosion subsidence and salinization of film types, use of which will help predict and monitor subsidence saline soils technologically loaded areas.

In the future development of mathematical models in the direction of their universalization and adaptation to conditions to settlement Precarpathians potash deposits.

#### **Список використаної літератури**

1. Головчак, В.Ф. Стан гірничопромислових геокомплексів Калуш-Голинського родовища калійних солей та заходи для їх екологічної оптимізації [Текст] / Головчак В.Ф. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010. – № 2. – С. 4 – 13.
2. 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.
3. Мустафаєв, А.А. Деформации засоленных грунтов в основаниях сооружений [Текст] / А.А. Мустафаев. – М.: Стройиздат, 1985. – 280 с.
4. ДБН В.1.1-5-2000. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих грунтах.

*Отримано 28.09.2015*