

УДК 624.131

**Т.П. Мокрицкая, канд. геол. наук, доц.,
Л.С. Коряшкина, канд. физ.-мат. наук, доц.**

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: mokritska@i.ua, koryashkinals@mail.ru

ФАКТОРЫ И МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПРОСАДОЧНОСТИ

**T.P. Mokritskaya, Cand. Sci. (Geol.), Associate Professor,
L.S. Koriashkina, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor**

Oles Gonchar Dnipropetrovsk National University, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: mokritska@i.ua, koryashkinals@mail.ru

DEGRADATION IN LOESSES FACTORS AND MODELS

Цель. Построение математической модели деградации просадочности массива в условиях техногенных воздействий на примере урбанизированных территорий. В условиях комплексных многофакторных техногенных воздействий процесс потери просадочных свойств – деградации просадочности имеет сложный характер. Необходимо создание математических моделей, описывающих деградацию просадочности массива в результате действия не только внешних, но и внутренних факторов как неравновесный термодинамический процесс.

Методика. Применены методы индуктивного математического моделирования процессов в сложных системах, а именно – метод группового учета аргументов. Данные о свойствах грунтов были разделены на группы по году их определения, выполнен стохастический анализ изменчивости показателей и связей между отдельными показателями. Модели регрессии взаимосвязей внутренних факторов, влияющих на интенсивность развития процесса, показателей физических и физико-механических свойств грунтов, координат не могут быть использованы для прогноза по ряду объективных обстоятельств. В качестве альтернативы применен метод группового учета аргументов, позволяющий на основании анализа коротких временных и „зашумленных“ данных выполнить построение модели.

Результаты. Приведены результаты анализа созданных математических моделей деградации просадочных свойств массива в результате совместного действия группы внутренних факторов системы. Подтверждено, что процесс деградации просадочных свойств вызывается изменением состояния грунтов, их микроагрегатного, гранулометрического состава. Установлены особенности процесса, протекающего в лессовидных субэаральных и палеопочвенных горизонтах, отвечающих различным палеогеографическим эпохам, в условиях комплексных техногенных воздействий. Подтверждено, что деградация просадочных свойств описывается как закономерный во времени процесс избирательно.

Научная новизна. Подтверждена установленная по результатам физического моделирования связь между показателями физических свойств грунтов и особенностями механического поведения по результатам изучения длительного временного ряда. Впервые, по результатам анализа временного ряда изменений физических свойств массива и их дисперсности в зоне влияния множества источников техногенных воздействий, получены нелинейные модели деградации просадочности. Получены новые данные об изменчивости относительной просадочности и факторах, ее вызывающих.

Практическая значимость. Полученные модели и методика их построения могут быть использованы при создании постоянно действующих имитационных моделей деградации просадочности массива территорий, подвергающихся интенсивному и многофакторному техногенному воздействию. Использование постоянно действующих моделей деградации просадочных свойств массива позволит существенно повысить эффективность мероприятий по мониторингу геологической среды. Прогнозные значения относительной просадочности можно использовать в практике инженерно-геологических исследований для ориентировочных оценок, при создании прогнозов развития инженерно-геологических процессов, разработке мероприятий по инженерной защите от опасных и неблагоприятных геологических процессов.

Ключевые слова: *лесс, деградация, метод группового учета аргументов, инженерно-геологические процессы*

Постановка проблемы. Выполнено моделирование изменчивости показателей просадочности массива просадочных грунтов за период 1956–2007 гг. по материалам инженерно-геологических исследований, выполненных на территории г. Днепропетровска (Украина). Изучение реального процесса изменения структурно-текстурных особенностей просадочных

массивов в условиях урбанизированных территорий связано с объективными трудностями. В частности, согласно существующим представлениям (Денисов Н.Я., Ларионов А.К., Осипов В.И., Трофимов В.Т. и др.), потеря просадочных свойств сопровождается необратимым разрушением структуры грунтов, в ходе которого изменяются их прочность и деформационные свойства, что указывает на необходимость поиска методов изучения процесса как неравновесного.

Основные понятия и методика исследований.

По результатам стохастического анализа результатов частных определений свойств установлено, что тенденции изменений гранулометрического состава, пористости и просадочности лессовых и палеопочвенных горизонтов различны. Под *деградацией просадочности* условимся понимать направленные изменения структуры, свойств и состояния грунтов перигляциальной формации в результате техногенных воздействий. *Факторами деградации просадочности* являются внешние и внутренние факторы. Интенсивность и состав техногенных воздействий относятся к внешним факторам. К внутренним факторам можно отнести факторы, определяемые свойствами системы, – свойства грунтов, изменение которых приводит к деградации. В настоящей работе изучаются внутренние факторы системы, определяющие ее уязвимость, изменение физических свойств и взаимосвязей между отдельными показателями во времени при техногенных воздействиях. Регрессионный анализ грунтов не применим для создания прогнозных моделей изменения их свойств по ряду причин. Не выполняются требования классического корреляционно-регрессионного анализа о статистической однородности и выполнении нормального закона распределения. Нарушение природного состояния грунта приводит к искажению корреляционных связей, набор значимых (включенных в уравнение регрессии по методу пошаговой регрессии) и факторных переменных (образующих стандартный набор наиболее употребительных показателей) не одинаков.

Стандартный набор факторных переменных включал: показатели физического состояния грунта, глубина отбора, год отбора. Зависимые переменные выбирались из списка: показатели относительной просадочности, величина деформации, модель деформации, показатели прочности в двух состояниях грунта по влажности. Статистическая значимость и адекватность моделей регрессии свойств грунтов указывает на возможность их использования для интерпретации процесса. Так как наборы факторных переменных из стандартного набора и статистически значимых переменных в моделях регрессии взаимосвязей между показателями различны, использовать результаты стохастического анализа для прогноза поведения массива недопустимо [1]. Методом, позволяющим построить модель деградации просадочности массива как процесса изменения отдельных свойств сложной системы, приводящий к деградации просадочности, является метод группового учета аргументов (МГУА). Автором метода является член-корреспондент НАНУ, д.т.н., профессор А.Г. Иващенко [2–3]. Этот метод применяется в самых различных областях для анализа данных, прогнозирования и моделирования систем, оптимизации и распознавания образов. Индуктивные алгоритмы МГУА дают возможность автоматически находить взаимозависимости в данных, выбирать оптимальную структуру модели. Выбор МГУА в качестве инструмента исследования можно обосновать следующими

фактами: с его помощью находится оптимальная сложность структуры модели, адекватная уровню помех в выборке данных; гарантируется нахождение наиболее точной или несмещенной модели; метод минимизирует влияние априорных предположений исследователя о результатах моделирования; метод является особенно эффективным для прогнозирования на „коротких“ выборках.

Метод использует идеи самоорганизации и механизмы живой природы – скрещивание (гибридизацию) и селекцию (отбор), позволяет отыскать функциональную зависимость F между входными и выходным параметрами по результатам наблюдений. Пусть имеется выборка из n наблюдений, где $X(i) = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ – значения исходных факторов при i -ом наблюдении. Наиболее полная зависимость между входами $X(i)$ и выходом Y может быть представлена с помощью обобщенного полинома Колмогорова-Габора

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i + \sum_{j=1}^N \sum_{i \leq j} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j \leq k \leq j} a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots,$$

где все коэффициенты a не известны.

Задача состоит в отыскании таких значений параметров модели a , при которых критерий регулярности принимает минимальное значение.

Поиск наилучшей модели осуществляется таким образом:

- Вся выборка делится на обучающую и проверочную.
- На обучающей выборке определяются значения $\hat{a}_0, \hat{a}_i, \hat{a}_{ij} \dots$
- На проверочной выборке отбираются лучшие модели.

В процессе научных исследований был разработан и программно реализован алгоритм метода группового учета аргументов для моделирования функциональной зависимости относительной просадочности от факторных переменных и координат.

Массив данных о свойствах лессовидных грунтов был разбит на части по году отбора монолитов, рассчитаны средние значения. Выполнено построение математической модели деградации просадочности за изучаемый период времени как нелинейной модели методом МГУА в разных интервалах давления, а также моделей параметров прочности и деформационных свойств элементов массива при разном по влажности состоянии. В качестве прогнозируемой функции выбраны значения относительной просадочности на каждой из ступеней давления при стандартных компрессионных испытаниях по методу двух кривых. Также получены модели изменений модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта в двух состояниях (природной влажности и полного водонасыщения). В качестве определяющих (факторных, входных) переменных выбраны показатели физических свойств грунтов, координаты (время и глубина), содержание отдельных фракций гранулометрического состава, определенные по результатам

испытаний монолитов, отобранных в различных точках на территории города из зоны аэрации.

Фактический материал. Настоящее исследование выполнено по материалам инженерно-геологических исследований, выполненных в период 1956–2007 гг. на территории г. Днепропетровска (Украина) специалистами ГП „Укрюжгеология“; материалы ГП „ДнепроГІИИТИЗ“, ОАО „ДнепроГипротранс“, ОАО „Днепропетровский филиал Укргіпродор“, НИИ геологии ДНУ. Материалы переданы авторам для научной обработки, результаты исследования принадлежат авторам и указанным организациям.

Изложение основных результатов. Все полученные модели содержат отдельные полиномиальные члены и их произведение, что указывает на нелинейный характер связи между факторными переменными. Уравнения не приводятся из-за громоздкого вида. Оптимальные модели деградации просадочности лессовидных и палеопочвенных грунтов построены перебором комбинаций из стандартного набора факторных переменных и фракций гранулометрического состава, на ступенях давления в интервале 0–0,3 МПа (таблица). Для деградации лессовидных субаэрационных суглинков, находящихся в условиях нормального давления, соответствующего по величине природным условиям, оптимальным является присутствие песчаных и пылеватых фракций. Эти фракции характеризуют

микроагрегатное строение лессовидных суглинков (по Ларионову А.К.). Факторами деградации палеопочвенных горизонтов являются содержания пылеватых и глинистых фракций, так как они включаются в состав факторных переменных на большем интервале давлений.

Время, как фактор процесса, включается в модель деградации лессовидных суглинков на всех ступенях давления. Деградация палеопочвенных горизонтов обнаруживает признаки нестационарного процесса выборочно, на ступенях давления, соответствующих пределу структурной прочности и интервалу значительных нагрузок. Судя по составу переменных, присутствующих в виде линейных полиномиальных членов, факторами просадочности, в большинстве случаев, являются плотность и влажность, но большее влияние на значения оказывают пределы пластичности, если они присутствуют в оптимальной модели.

Тенденция связи дисперсности просадочных лессовидных суглинков и деградации просадочных свойств определяется внешними условиями: давлением и состоянием по влажности. В интервале напряжений, близких к природным (0–0,05 МПа), на протяжении 1976–1993 гг., относительная просадочность на некоторых участках имеет высокие значения. В интервале давлений, превышающих природные, относительная просадочность уменьшается во времени (рис. 1).

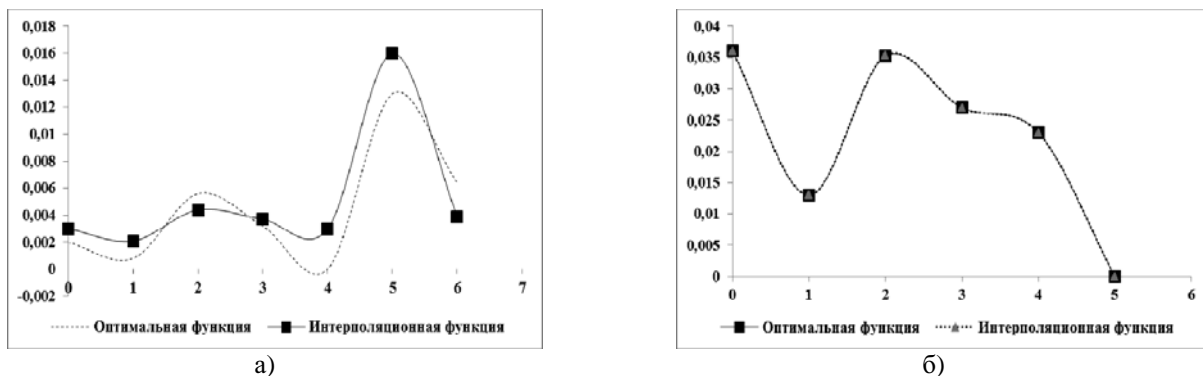


Рис. 1. Оптимальная и интерполяционная функции выходной переменной: а) значения оптимальной и интерполяционной функций относительной просадочности грунтов, давление 0,1 МПа; б) то же, давление 0,3 МПа; 1. ось ординат: значения выходной функции – относительной просадочности лессовидных суглинков; ось абсцисс – время от начала наблюдений, год. 2. Модель вида $\varepsilon_{SL} = f(t, z, WL, W, PLS, PL, R0, 5, \sigma)$. 3. ε_{SL} – относительная просадочность, д. ед.; t – время от начала наблюдений, год.; z – средняя глубина, м; WL – влажность на границе текучести д. ед.; W – природная влажность, д. ед.; PLS, PL – плотность частиц грунта и плотность грунта, г/см³; $R0, 5$ – содержание фракции 1–0,5 мм; σ – нормальное напряжение, МПа. 4.

Характер изменчивости относительной просадочности изменяется во времени, сдвигается интервал давлений, в котором проявляются просадочные деформации, что необходимо учитывать при решении прикладных задач. Следует отметить, что наибольшие значения принимают коэффициенты при переменной t – время на ступени давлений 0,05–0,1 МПа в модели, содержащей в качестве факторной переменной содержание фракции 0,1–0,05 мм. В интервале давлений, меньшем предела структурной прочности грунта [4], большинство оптимальных моделей включает время

как факторную переменную. В интервале давлений, близких к пределу структурной прочности грунта, просадочность закономерно изменяется во времени, в интервале давлений, больших или меньших структурной прочности, связь с координатой по времени устанавливается в случаях, когда в качестве факторной переменной выбираются содержания тех фракций, изменение которых влияет на значения относительной просадочности грунтов. В других случаях деградация просадочности грунта описывается как незакономерный во времени процесс.

Выборочные коэффициенты факторных переменных оптимальных моделей относительной просадочности грунтов

| Признаки функции | | | Коэффициенты при переменных | | | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Генетический тип породы | Интервал давления, мПа | R | t | z | WL | W | PLS | PL | R |
| Палеопочвенные горизонты | 0,00–0,05 | 0,01–0,005 | | + | 0,069 | | | 0,006 | + |
| | | менее 0,005 | | + | -0,119 | | + | -0,004 | + |
| | 0,05–0,10 | 0,10–0,50 | + | + | | 0,13 | 0,0016 | 0,0018 | |
| | | 0,50–0,25 | + | + | | 0,13 | 0,0016 | 0,0018 | |
| | | 0,25–0,10 | | | + | + | | -0,009 | -0,011 |
| | | 0,01–0,005 | | | + | -0,018 | | + | 0,0012 |
| | | менее 0,005 | | 0,217 | 0,289 | | + | 0,055 | -0,0012 |
| | 0,10–0,15 | 0,25–0,10 | | | | + | + | -0,106 | |
| | | 0,10–0,05 | | | | + | + | -0,106 | |
| | 0,15–0,20 | 0,01–0,005 | | | | -0,693 | + | 0,001 | + |
| | | менее 0,005 | | | | -0,693 | + | 0,001 | + |
| | 0,25–0,30 | 0,50–0,25 | | + | | 17215 | 56,86 | + | 0,031 |
| | | менее 0,005 | 0,071 | + | + | + | 0,069 | 0,0197 | + |
| | Субэдральные лессовидные суглинки и супеси | Интервал давления, мПа | R | t | WL | WP | W | PLS | PL |
| 0,00–0,05 | | 0,25–0,10 | | 0,0015 | + | | | | + |
| | | 0,05–0,01 | 0,001 | | | | + | 0,0017 | |
| | | 0,01–0,005 | + | 0,01 | | 0,005 | + | + | |
| 0,05–0,10 | | 1,00–0,50 | | | | + | + | | 0,107 |
| | | 0,50–0,25 | | + | 256,42 | 91,836 | 0,005 | 1,173 | 1,807 |
| | | 0,25–0,10 | + | + | | | 0,0055 | -0,048 | -0,028 |
| | | 0,10–0,05 | 0,867 | 24,604 | + | 0,135 | 0,0317 | -0,016 | 0,986 |
| | | 0,05–0,01 | + | | -0,053 | | + | 0,0025 | + |
| 0,20–0,30 | | 1,00–0,50 | | | + | 0,177 | + | 0,001 | 0,0057 |
| | 0,50–0,25 | + | | 0,07 | -0,831 | 0,004 | + | 0,002 | |
| | 0,25–0,10 | | 0,03 | 0,006 | 0,378 | | 0,006 | | |

Примечание к табл.: 1. Функция – относительная просадочность грунтов. 2. R – содержание фракции гранулометрического состава, %. 3. Координаты: t – время от начала наблюдений, год.; z – глубина, м. 4. Показатели физических свойств: WL, WP – влажность на границе раскатывания; влажность на границе текучести, д. ед.; природная влажность W, д. ед.; PLS, PL – плотность частиц грунта и плотность грунта, г/см³. 5. В ячейках указаны значения коэффициентов при линейном полиномиальном члене модели по данной переменной; (+) – переменная присутствует в модели в качестве нелинейного члена

Выводы:

1. Математическая модель деградации просадочности грунтов может быть построена методом группового учета аргументов.

Факторы деградации просадочности грунта – микроагрегатное строение, показатели физических свойств, временные и пространственные координаты. Все полученные модели указывают на нелинейный характер связи между факторными переменными.

2. Деградация лессовидных субэдральных суглинков определяется изменением содержания песчаных и пылеватых фракций.

3. Факторами деградации палеопочвенных горизонтов являются содержание пылеватых и глинистых фракций.

4. Время, как фактор процесса, включается в модель деградации лессовидных суглинков на всех ступенях давления.

5. Деградація палеопочвенних горизонтів обнаруживает признаки нестационарного процесса выборочно, на ступенях давления, соответствующих пределу структурной прочности и интервалу значительных нагрузок.

Список літератури / References:

1. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка / Тихонов Э.Е.– Невинномысск: Северо-Кавказский Университет, 2006. – 221 с.
Tikhonov, E.E. (2006), *Metody prognozirovaniya v usloviyakh rynka* [Methods for predicting in market conditions], Tutorial, North-Caucasian University, Nevinnomyssk, Russia.
2. Ivakhnenko, A.G., Madala, H.R. (1994), *Inductive learning algorithms for complex systems modeling*, CRC Press, London, Tokyo.
3. Грешилов А.А. Математические методы построения прогнозов / Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
Greshilov, A.A., Stakun, V.A., Stakun, A.A. (1997), *Matematicheskiye metody postroyeniya prognozov* [Mathematical methods of forecasting], Radio i sviaz, Moscow, Russia.
4. Осипова М.А. Комплексные исследования структурной прочности лессовых пород Приобского плато: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. геол.-мин. наук / М.А. Осипова – Барнаул, 2007. – 21 с.
Osipova, M.A. (2007), "Comprehensive research of the structural strength of the loess materials of the Ob plateau", Abstract of PhD dissertation (Cand. Sci. (Geol.-Min.)), Barnaul, Russia.

Мета. Побудова математичної моделі деградації просадочності масиву в умовах техногенних впливів на прикладі урбанізованих територій. В умовах комплексних багатofакторних техногенних впливів процес втрати просадних властивостей – деградації просадочності має складний характер. Необхідне створення математичних моделей, що описують деградацію просадочності масиву в результаті дії не тільки зовнішніх, але й внутрішніх факторів як нерівноважний термодинамічний процес.

Методика. Застосовано методи індуктивного математичного моделювання процесів у складних системах, а саме – метод групового врахування аргументів. Дані про властивості ґрунтів були розділені на групи за роком їх визначення, виконано стохастичний аналіз мінливості показників і зв'язків між окремими показниками. Моделі регресії залежності внутрішніх факторів, що впливають на інтенсивність розвитку процесу, показників фізичних і фізико-механічних властивостей ґрунтів, координат не можуть бути використані для прогнозу по ряду об'єктивних обставин. В якості альтернативи застосовано метод групового обліку аргументів, що дозволяє на підставі аналізу коротких тимчасових і „зашумлених“ даних виконати побудову моделі.

Результати. Наведено результати аналізу створених математичних моделей деградації просадочності масиву в результаті спільної дії групи

внутрішніх факторів системи. Підтверджено, що процес деградації просадочних властивостей викликається зміною стану ґрунтів, їх мікроагрегатного, гранулометричного складу. Встановлено особливості процесу, який протікає в лесовидних субаеральних і палеоґрутових горизонтах, що відповідають різним палеогеографічним епохам, в умовах комплексних техногенних впливів. Підтверджено, що деградація просадочних властивостей описується як закономірний у часі процес вибірково.

Наукова новизна. Підтверджено встановлений за результатами фізичного моделювання зв'язок між показниками фізичних властивостей ґрунтів та особливостями механічної поведінки за результатами вивчення тривалого часового ряду. Уперше, за результатами аналізу часового ряду змін фізичних властивостей масиву та їх дисперсності в зоні впливу безлічі джерел техногенних впливів, отримано нелінійні моделі деградації просадочності. Отримано нові дані щодо мінливості відносної просадочності та факторів, що її викликають.

Практична значимість. Отримані моделі та методика можуть бути використані при створенні постійно діючих імітаційних моделей деградації просадочності масиву територій, що піддаються інтенсивному й багатofакторному техногенному впливу. Використання постійно діючих моделей деградації просадочності масиву дозволить істотно підвищити ефективність заходів з моніторингу геологічного середовища. Прогнозні значення відносної просадочності можна використовувати у практиці інженерно-геологічних досліджень для орієнтовних оцінок, при створенні прогнозів розвитку інженерно-геологічних процесів, розробці заходів щодо інженерного захисту від небезпечних і несприятливих геологічних процесів.

Ключові слова: лес, деградація, метод групового обліку аргументів, інженерно-геологічні процеси

Purpose: Construction of mathematical model of proneness subsidence degradation in conditions of techno-genic influences on the example of urban areas. In conditions of the complex multifactorial technological impacts the loss of sagging properties – proneness subsidence degradation is complex. It is necessary to create mathematical models, which describe proneness subsidence degradation as a result of not only external but also internal factors as none-equilibrium thermodynamic process.

Methodology: The methods of inductive mathematical modeling of the processes in the complex systems - namely, the group method of accounting arguments, were applied. Soils' properties data have been divided into groups according to the year of their definition, and stochastic analysis of indicators variability and relations between individual separate indicators had been made. Regression models of dependence of internal factors that affect the intensity of development process, the indicators of physical and physical and mechanical properties of the soils, coordinates cannot be used for forecasting due to objective circumstances. As an alternative it was used the group method of data han-

dling, which allows building of the model on the basis of analysis of the short temporary and “noisy” data.

Findings: The article contains results of the analysis of mathematical models of degradation subsiding properties. Degradation was considered as the result of the joint action of internal factors of the system. It is confirmed that the degradation of subsiding properties is caused by changes in soils state and their micro aggregate content and size distribution. It has been determined features of the process in loess-shaped, subaerial and paleosol soil horizons, which correspond to different paleogeographic eras in conditions of the complex techno-genetic influences. It was confirmed that the degradation of the sagging properties is described as the logical time process as an exception.

Originality. It was confirmed the association between physical properties of the soils on the result of physical modeling and association between characteristics of the mechanical behavior on the results of long time series. The nonlinear model of subsidence degradation was received at first, basing on the analysis of the long time series changes in the physical properties of the array and its dispersion in

the zone of variety of techno-genetic sources influences. It was received new data about variability of relative subsidence and the factors causing it.

Practical value. The obtained models and methods can be used to produce the Permanent acting simulation models of array subsidence degradation in areas exposed to intensive multifactorial and human impact. The usage of the Permanent acting models of degradation of subsiding properties of an array will significantly improve the efficiency of measures for monitoring geological environment. Predictive values of the relative subsidence can be used in the practice of engineering and geological investigations for estimated assessments during creation of the forecasts of engineering-geological processes, developing measures for engineer protection from hazardous and unfavorable geological processes.

Keywords: *loess, degradation, group method of data handling, engineering and geotechnical processes*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук Г.П. Євграшкіною. Дата надходження рукопису 05.12.12.

УДК 553.065.5 (477)

**В.М. Загнітко¹, д-р геол.-мін. наук, проф.,
Н.М. Лижаченко¹,
С.І. Курило²**

1 – Київський національний університет ім. Т. Шевченка, м. Київ, Україна, e-mail: zagnitko@univ.kiev.ua

2 – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, м. Київ, Україна

НЕТИПОВІ ПРОЯВИ ГРАФІТУ ЗАВАЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА

**V.M. Zagnitko¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor,
N.M. Lyzhachenko¹,
S.I. Kurylo²**

1 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: zagnitko@univ.kiev.ua

2 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ATYPICAL GRAPHITE OCCURRENCES IN ZAVALLYA FIELD

Мета. Комплексна характеристика мінералів та оцінка умов утворення графіт-тремолітових метасоматитів на основі мінералого-петрографічних, ізотопних та аналітичних даних.

Методи. Петрографічні дослідження для безперервної серії шліфів, що повністю охоплюють породні різновиди колонки та визначення ізотопного складу вуглецю графіту з центральної частини метасоматиту. Проведено визначення вмісту макрокомпонентів (силікатний аналіз) рентген-флуоресцентним методом із хвильовою дисперсією, визначення концентрацій елементів – домішок енергодисперсійним рентген-флуоресцентним методом, електронно-мікроскопічне дослідження хімічного складу окремих мінералів на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі. Вказані аналітичні дослідження проводились у лабораторії мінералого-геохімічних досліджень геологічного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та лабораторії ІГМР НАНУ.

Результати. На основі комплексних досліджень показано, що графіт-тремолітовий метасоматит виник у результаті впливу високотемпературного кремнисто-водного розчину на кальцифір. Графіт утворився у процесі декарбонатації первинної силікат-карбонатної речовини.

Наукова новизна. Графіт Завалівського родовища, приурочений, переважним чином, до гнейсових товщ, утворився за рахунок первинно-осадової органічної речовини. Вивчення нетипового прояву графіту на основі отриманих ізотопних та аналітичних даних і опис найбільш імовірного шляху його утворення.

Практичне значення. Результати роботи отримають практичне застосування при подальшому вивченні та розробці графітоносних метаморфізованих товщ Українського щита.

Ключові слова: *генезис, аналітичні дослідження, ізотопні дослідження, метасоматоз, графіт, родовище*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Графітоносна провінція Українського щита є однією з

найбагатших у світі. До її складу входить одне з найбільших у СНД родовищ графіту – Завалівське. На сьогодні щодо генезису графіту вітчизняних та світових родовищ існує кілька гіпотез: магматична, мета-