

МРНТИ 67.21.17

Ю.Л. Винников<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Н.А. Косточка<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>2</sup>Аспирант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2164-9936>



<sup>1,2</sup>Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка,



Полтава, Украина



<sup>1</sup>[y.vinnykov@mail.ru](mailto:y.vinnykov@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/FKOP7210>

## ВЛИЯНИЕ МАКРОПОРИСТОСТИ НА СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТА

**Аннотация.** Проанализировано влияние макропористости грунта на сжимаемость основания. Представлены результаты испытаний образцов, по которым установлено, что увеличение неоднородности пористости (диапазона геометрических размеров пор) грунта при одинаковых значениях его коэффициента пористости и влажности вызывает увеличение сжимаемости массива.

**Ключевые слова:** лессовый грунт, макропористость, коэффициент пористости, сжимаемость грунта, относительная сжимаемость грунта.



Винников, Ю.Л. Влияние макропористости на сжимаемость грунта [Текст] / Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.259-267. <https://doi.org/10.55956/FKOP7210>

**Введение.** Из геотехнической практики известны многочисленные аварийные деформации зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах в Волгодонске, Душанбе, Запорожье, Никополе, Одессе, Херсоне и других городах [1-7]. Среди их главных причин – ошибки при проведении инженерно-геологических изысканий или анализе результатов исследований. Отметим, что по данным проф. В.И. Крутова [2] суммарные затраты на восстановление нормальной эксплуатации деформировавшихся объектов достигают 20-60% от стоимости строительно-монтажных работ.

Деформационные свойства дисперсных глинистых грунтов зависят не только от прочности отдельных твердых (минеральных) частиц, сколько от структурных особенностей грунтов, среди которых один из важнейших параметров – пористость. Структура грунта (или закономерное расположение различных по крупности и форме частиц) создает пористое строение грунта.

Для лессовых грунтов характерна макропористость [1-4,7-10]. Современные методы исследований не всегда позволяют установить объём макропор в единице объёма грунта природной структуры [8-10].

Структуру грунтов подразделяют на природную (ненарушенную) и нарушенную [8-10]. Нарушенная структура характерна для грунтов, у которых механическим способом (например, перемятием) повреждены естественные структурные связи между твердыми частицами. Такие грунты

сжимаются сильнее, чем грунты с естественной структурой при одинаковых значениях пористости и влажности.

В грунте естественной структуры объем пор различный по всему образцу (массиву), и обычно находится в некотором интервале от микропор до макропор. Это объясняется природными процессами происхождения (генезиса) при эволюции конкретного грунта. Макропоры образовали корни растений, черви и т. д. [1-3,8-10]. Грунты нарушенной структуры, имеют более равномерную по объему образца пористость. Обычно определяют пористость грунтов, и сравнивают ее по средним величинам, без учета неравномерности распределения пор внутри образца (массива) грунта [10].

Сжимаемость грунта происходит за счет уменьшения их пористости. По изменению пористости образцов грунта от нагрузки при штамповых или компрессионных испытаниях [11] определяют характеристики сжимаемости массива. Если в грунтовом массиве неоднородность пористости (диапазон геометрических размеров пор) не оказывает существенного значения на его сжимаемость, то в небольшом образце грунта она может значительно влиять на его деформацию, а, следовательно, вносить погрешность при определении характеристик сжимаемости [8,9].

Отсюда цель настоящей работы – выяснить влияние макропористости на параметры сжимаемости грунта.

**Материалы и методы исследований.** Для выявления влияния макропористости на сжимаемость грунта были проведены испытания по компрессионному сжатию [11] отобранных в шурфе на глубине 2,0 м образцов суглинка лессового, тяжелого пылеватого с влажностью на границе текучести  $W_L = 0,320$ , влажностью на границе раскатывания  $W_P = 0,222$ , числом пластичности  $I_P = 0,127$ .

По результатам этих испытаний выполнялось сравнение показателей сжимаемости образцов грунта нарушенной структуры с различной макропористостью при разной влажности. Кроме того, выполнено сравнение показателей сжимаемости образцов нарушенной и природной структуры.

Сначала испытывали 12 образцов грунта естественной структуры, средняя влажность которого составляла  $w = 0,178$ , а средний начальный коэффициент пористости –  $e_0 = 0,756$ .

После компрессионных испытаний грунта естественной структуры, все образцы перетирали на терке для получения однородной массы. Затем из нее изготавливали образцы нарушенной структуры по следующей методике. Компрессионные кольца заполняли одинаковым количеством (по массе) грунта нарушенной структуры так, чтобы средний коэффициент пористости грунта в каждом образце составил  $e_0 = 0,756$ .

Далее в образце проделывали вертикальные каналы (макропоры) путем вдавливания в грунт проволоки диаметром 1 мм без изменения объема грунта в кольце. В каждой группе из трех образцов делали по 10, 20, 30 каналов, а в трех образцах каналов не делали.

Таким образом получили 12 колец с грунтом одинаковой влажности  $w = 0,172$  и одинаковым средним коэффициентом пористости  $e_0 = 0,756$ , но с разным объемом макропор (вертикальных каналов) в каждой группе образцов.

После окончания испытаний грунт вновь перетирали, подсушивали и изготовляли новую партию образцов со средней влажностью  $w = 0,128$ , а затем и с влажностью  $w = 0,085$ .

Полученные по окончании лабораторного эксперимента его результаты обрабатывались с использованием показателя сжимаемости грунта  $N_{pw}$  [12], который удобно определять в процентах по формуле (1)

$$N_{pw} = \frac{e_0 - e_p}{e_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta e_p}{e_0} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где:  $N_{pw}$  – показатель сжимаемости грунта при давлении  $p$ ;  $e_0$  – начальный коэффициент пористости грунта;  $\Delta e_p$  – уменьшение коэффициента пористости грунта после его сжатия давлением  $p$ .

**Результаты исследований.** Показатель сжимаемости грунта  $N_{pw}$  [12] отражает относительное изменение коэффициента пористости  $e$  при его сжимаемости от нагрузки. Сжимаемость зависит от пористости грунта и начального коэффициента пористости  $e_0$ . Поэтому, для того чтобы исключить влияние пористости отдельных образцов грунта на характеристику сжимаемости его величина определяется как относительное уменьшение коэффициента пористости при сжатии образца грунта. Показатель сжатия грунтового основания вычисляют как среднюю арифметическую величину.

Величины показателей сжимаемости грунта  $N_{pw}$  при различных значениях влажности и количестве канальцев (макропор) в образцах грунта приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Влияние макропористости образцов грунта на их сжимаемость

Давление $p$ , МПа	Количество вертикальных канальцев $n$ в образцах грунта нарушенной структуры	Значения показателя сжимаемости грунта $N_{pw}$ при его разной влажности $w$ , %			
		нарушенной структуры			природной структуры
		$w = 0,085$	$w = 0,128$	$w = 0,172$	$w = 0,178$
1	2	3	4	5	6
0,05	0	0,2	0,5	0,5	1,0
	10	0,5	0,5	0,5	
	20	0,5	0,5	1,0	
	30	0,5	0,5	1,0	
0,10	0	1,5	1,0	2,5	2,5
	10	1,0	1,5	2,5	
	20	1,4	1,5	3,0	
	30	1,0	1,0	2,0	
0,20	0	2,5	3,0	5,5	5,5
	10	2,0	3,0	5,0	
	20	2,5	2,5	6,5	
	30	1,5	2,5	7,0	

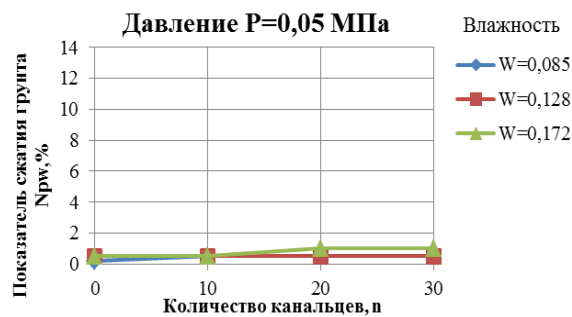
Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
0,30	0	3,0	5,0	7,5	9,5
	10	3,5	5,0	9,0	
	20	3,0	5,0	13	
	30	2,5	4,5	12,5	

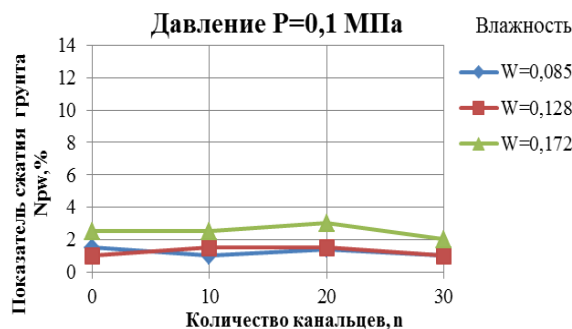
По данным таблицы 1 построены графики зависимости значений относительной сжимаемости грунта с различной макропористостью нарушенной структуры  $N_{pw} = f(n)$  от его влажности  $w$  (см. рис. 1) и от давления в компрессионном приборе  $p$  (см рис. 2).

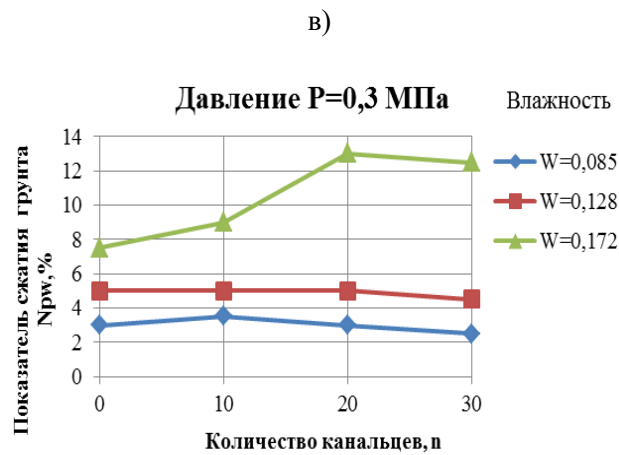
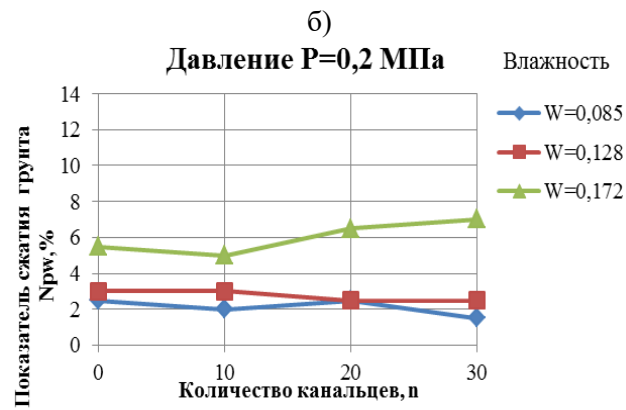
Из рисунка 1, в частности, видно, что при малых значениях влажности ( $w=0,085$  и  $w=0,128$ ) макропористость грунта практически не оказывает влияние на сжимаемость образцов. С приближением значения влажности грунта к границе его раскатывания ( $w=0,172$ ), увеличение макропористости повышает сжимаемость образцов, что наглядно видно из рисунка 1, в), г).

Однако такая закономерность прослеживается до определенной величины макропористости. В данном случае, из рисунка 1, г) видно, что при влажности  $w=0,172$  увеличение сжимаемости при  $n > 20$  уже не происходит. Это указывает на то, что имеется граница максимального влияния макропористости на сжимаемость образцов грунта. Из рисунка 1 также, следует, что влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта увеличивается с увеличением нагрузки (давления  $p$ ).



а)

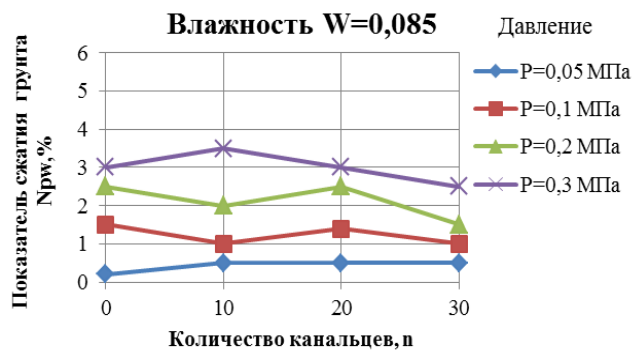




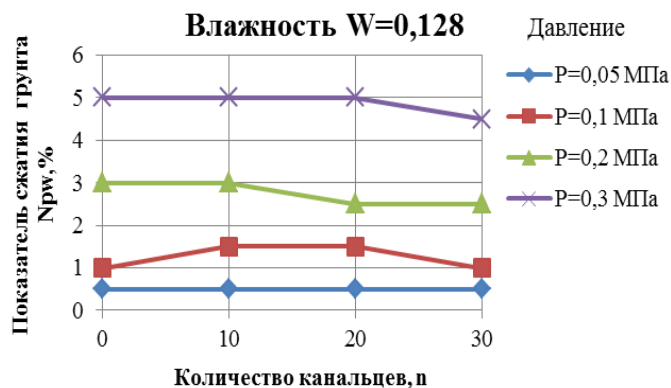
г)

а – графики зависимости  $N_{pw} = f(n)$  при давлении  $p = 0,05$  МПа; б – тоже при  $p = 0,1$  МПа; в – тоже при  $p = 0,2$  МПа; г – тоже при  $p = 0,3$  МПа.

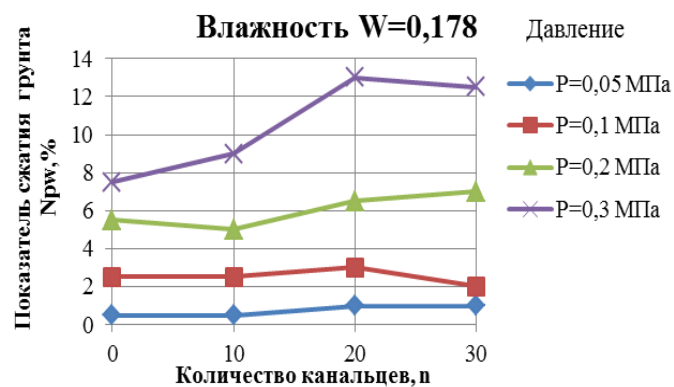
Рис. 1. Влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта в зависимости от влажности  $w$



а)



б)



в)

а – графики зависимости  $N_{pw} = f(n)$  при влажности  $w=0,085$ ; б – тоже при  $w=0,128$ ; в – тоже при  $w=0,172$ .

Рис. 2. Влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта в зависимости от давления  $p$

На рисунке 2 показаны графики влияния макропористости на сжимаемость образцов грунта при постоянной влажности  $w=const$ . Из рисунка 2, а), б) наглядно видно, что при влажности образцов грунта до  $w=0,128$  макропористость практически не оказывает влияния на сжимаемость. С увеличением влажности до  $w=0,172$  (рис. 2, в) усиливается влияние макропористости на сжимаемость образцов грунта, а особенно с повышением нагрузки.

**Заключение.** Таким образом, из проведенного анализа можно сделать следующие выводы. При малых значениях давления и влажности макропористость образцов грунта практически не оказывает влияние на их сжимаемость. С увеличением влажности образцов грунта и прилагаемого к ним давления, макропористость грунта, до определенного предела (в настоящем исследовании – это 20 канальцев) оказывает существенное влияние на их сжимаемость.

Разброс величин показателя относительной сжимаемости  $N_{pw}$  отдельных образцов грунта ненарушенной структуры с увеличением ступени давления растет, что объясняется неоднородностью пористости в образцах лессового грунта.

#### Список литературы

1. Абелев, Ю.М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах [Текст] / Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1979. – 271 с.
2. Крутов, В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах [Текст] / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев – М.: АСВ, 2012. – 560 с.
3. Основания и фундаменты в инженерно-геологических условиях юга Казахстана [Текст] / О.К. Югай, И.С. Бровко, В.А. Дубровский и др. – Шымкент: Ю-КТУ, 1997. – 175 с.
4. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils // Geotechnical Engineering in Urban Environments. – Proc. of 14<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. – P. 481 – 486.
5. Кушнер, С.Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений [Текст] / С.Г. Кушнер. – Запорожье: ООО «ИПО Запорожье», 2008. – 496 с.
6. Braja M. Das Shallow foundations. Bearing capacity and settlement. – CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009. – 327 p.
7. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти. Підручник [Текст] / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, В.Г. Шаповал, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги» – 2012. – 196 с.
8. Сергеев, Е.М. Грунтоведение [Текст] / Е.М. Сергеев. – М.: МГУ, 1959. – 333 с.
9. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат. – Т.1. – 1971. – 368 с.; Т.2. – 1973. – 375 с.; Т.3. – 1979. – 304 с.
10. Денисов, Н.Я. Природа прочности и деформации грунтов [Текст] / Н.Я. Денисов. – М.: Стройиздат. – 1972. – 175 с.
11. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС, 1996. – 56 с.
12. Винников, Ю.Л. Підвищення достовірності показників стисливості основи за даними компресійних випробувань ґрунтів [Текст] / Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: 36. наук. пр. Вип. 27. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 407 – 414.

*Материал поступил в редакцию 14.03.26, принят 27.03.26.*

**Ю.Л. Винников<sup>1</sup>, Н.А. Косточка<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Юрий Кондратюк атындағы Полтава ұлттық техникалық университеті,  
Полтава, Украина

#### МАКРОКЕУЕКТІЛІКТІҢ ТОПЫРАҚТЫҢ СЫҒЫЛУЫНА ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Жұмыста топырақ макрокеуектілігінің сығылу негізіне әсері талданды. Сынақ үлгілерінің нәтижелері ұсынылды, оған сәйкес топырақтың кеуектілік коэффициенті мен ылғалдылығының тең мәндерінде кеуектілігінің

(кеуектердің геометриялық өлшемдерінің диапазоны) гетерогенділігінің артуы массивтің сығылуын арттыратыны анықталды.

**Тірек сөздер:** лесс топырақ, макрокеуектілік, бос қатынасы, топырақтың сығылуы, топырақтың салыстырмалы сығылуы.

Y.L. Vynnykov<sup>1</sup>, N.A. Kostochka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuka ,  
Poltava, Ukraine*

### THE IMPACT OF MACROPOROSITY TO SOILS COMPRESSIBILITY

**Abstract.** The influence of soil macroporosity on compressibility base is analyzed. Presents the results of the test samples according to which it is established that increase the heterogeneity of porosity (range of geometrical dimensions of the pores) soil at equal values of its porosity coefficient and humidity causes the increase of the compressibility of the array.

**Keywords:** loess soil, macroporosity, void ratio, soils compressibility, the relative compressibility of the soil.

#### References

1. Abelev Yu.M., Abelev M.Yu. Osnovy proyektirovaniya i stroitel'stva na prosadochnykh makroporistykh gruntakh [Fundamentals of Design and Construction on Subsidence Macroporous Soils]. - Moscow: Stroyizdat, 1979. - 271 p. [in Russian].
2. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Proyektirovaniye i ustroystvo osnovaniy i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Design and Construction of Foundations and Bases on Subsidence Soils]. - Moscow: ASV, 2012. - 560 p. [in Russian].
3. Yugay O.K., Brovko I.S., Dubrovsky V.A., et al. Osnovaniya i fundamenty v inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh yuga Kazakhstana [Foundations and Bases in Engineering-Geological Conditions of Southern Kazakhstan]. - Shymkent: SKTU, 1997. - 175 p. [in Russian].
4. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with collapsing soils // Geotechnical Engineering in Urban Environments. - Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). - Millpress Science Publish. Rotterdam, 2007. - P. 481 - 486.
5. Kushner S.G. Raschet deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy [Calculation of deformations of foundations of buildings and structures]. - Zaporizhzhia: OOO "IPO Zaporizhzhia", 2008. - 496 p. [in Russian].
6. Braja M. Das Shallow foundations. Bearing capacity and settlement. – CRC Press. Taylor & Francis Group, 2009. – 327 p.
7. Shvets V.B., Boyko I.P., Vinnikov Yu.L., Zotsenko M.L., Petrakov O.O., Shapoval V.G., Bida S.V. Mekhanika gruntiv. Osnovi ta fundamenti. Pidruchnik [Mechanics of soils. Lay down the foundations. Pidruchnik]. – Dnipropetrovsk: "Thresholds" – 2012. – 196 p. [in Ukrainian].
8. Sergeev E.M. Gruntovedeniye [Soil science]. – Moscow: MSU, 1959. – 333 p. [in Russian].
9. Goldstein M.N. Mekhanicheskiye svoystva gruntov [Mechanical properties of soils]. – Moscow: Stroyizdat. – V.1. – 1971. – 368 p.; V.2. – 1973. – 375 p.; V.3. – 1979. – 304 p. [in Russian].

10. Denisov N.Ya. Priroda prochnosti i deformatsii gruntov [The Nature of Strength and Deformation of Soils]. – Moscow: Stroyizdat. – 1972. – 175 p. [in Russian].
11. GOST 12248-96. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruyemosti [GOST 12248-96. Soils. Methods of Laboratory Determination of Strength and Deformability Characteristics]. – Moscow: MNTKS, 1996. – 56 p. [in Russian].
12. Vinnikov Yu.L., Bone N.A. Pídvishchennya dostovírnosti pokaznikív stislivosti osnovi za danimi kompresíynikh viprobuvan' ģruntív [Improvements in the reliability of base elasticity indicators based on data from compression testing of soils] // Resource-saving materials, structures, materials and materials: Zb. Sci. Ave. Vip. 27. – Rivne: NUVGP, 2013. – P. 407 – 414. [in Ukrainian].