

УДК 552.1 (550.93)

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280223.92.923

МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕОЛОВО-АЛЮВІАЛЬНИХ ПІСКІВ М. ЕНЕРГОДАР

СЄДІН В. Л.¹, докт. техн. наук, проф.,
УЛЬЯНОВ В. Ю.^{2*}, ас.,
КОВБА В. В.^{3*} канд. техн. наук, доц.,
ГОРЛАЧ С. М.⁴, канд. техн. наук, доц.,
ЗАГІЛЬСЬКИЙ В. А.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sedin.volodymyr@pgasa.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

². Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: uluanov.vasily@pgasa.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*}. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38(096)588-46-71, e-mail: kovba.vladyslav@pgasa.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: horlach.serhii@pgasa.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6511-7574

⁵. Кафедра інженерної геології і геотехніки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: zahilskyi.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

Анотація. *Постановка проблеми.* Припущення, що на властивості піщаних ґрунтів, крім інших факторів, можуть впливати і морфологічні особливості самих пісків еолово-алювіального генезису, з'явилося ще в ході аналізу даних високоточних геодезичних спостережень за осіданнями та кренами будівель і споруд у районі м. Енергодар. Заслужують на увагу й дані інженерних досліджень. Зміна властивостей піщаних ґрунтів має найбільше значення для штучних поверхневих споруд промзони і самого міста, а саме: підпірних стінок, так званих світлових дворів енергоблоків, та Запорізької ДРЕС, опор ЛЕП та ін. Ця стаття присвячена рішенням частини питань, що виникли раніше, стосовно можливих причин некерованих і до теперешнього часу осідань окремих будівель і споруд промзони, а також міських будівель. **Мета статті** – отримання під час виконання досліджень деяких відсутніх даних про морфологію еолово-алювіальних пісків у межах м. Енергодар, зокрема, достовірних кількісних показників, які можуть бути використані в розрахунках ґрунтових основ. **Висновки.** Наведено результати визначення показника морфології ґрунтів, а також вивчення форми та характеру поверхні піщаних зерен алювію вітачівсько-бузького горизонту першої заплавної тераси долини р. Дніпро в межах м. Енергодару. Також проаналізовано результати аналогічних робіт із вивчення генетичних типів четвертинних пісків різного генезису долини р. Дніпро. Завдяки дослідженням отримано дані про морфологію мономінеральних олігоміктових алювіальних пісків, їх форму і характер поверхні піщаних зерен алювію. Оскільки у більшості вивчених пісків переважаючим мінералом був кварц, у подальших дослідженнях намічено вивчення інших мінеральних різниць, що дозволило б отримати дані про формування контактів між піщаними зернами, форма яких відмінна від сфери, пластинчаста або інша. Уперше отримано деякі основні морфологічні характеристики еолово-алювіальних четвертинних пісків долини р. Дніпро у м. Енергодар. Уточнено поняття про еолові відклади, визначення віку формування яких проблематичне. Визначено тенденцію зниження показника морфології річкових пісків долини р. Дніпро від витоків до його гирла. Результати проведених досліджень можуть бути імплементовані й до ґрунтів основ будівель м. Енергодар.

Ключові слова: *піщані ґрунти; піщані частинки; контакти між зернами; число зерен; обкатаність зерен; сферичність зерна; морфологія зерен; піщані фракції*

MORPHOLOGICAL FEATURES OF EOLIAN AND ALLUVIAL SANDS OF ENERGDAR CITY

SEDIN V.L.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
ULYANOV V.Yu.², Ass.,
KOVBA V.V.^{3*}, Ph. D., Assoc. Prof.,

HORLACH S.M.⁴, *Ph. D., Assoc. Prof.*,
ZAHILSKYI V.A.⁵, *Ph. D., Assoc. Prof.*

¹ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: segin.volodymyr@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Department of Engineering Geology and Geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: uluanov.vasiliy@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*} Department of Engineering Geology and Geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (096) 588-46-71, e-mail: kovba.vladyslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: horlach.serhii@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-6511-7574

⁵ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: zahilskiy.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

Abstract. Problem statement. The assumption that the properties of sandy soils, in addition to other factors, can also be influenced by the morphological features of the sands of eolian and alluvial genesis, appeared during the analysis of data from high-precision geodetic observations of subsidence and tilting of buildings and structures in the area Energodar. Data from engineering studies also deserve attention. To the greatest extent, the change in the properties of sandy soils is important for the artificial surface structures of the industrial zone and the city itself, namely: retaining walls, so-called light yards of power units and Zaporizhzhya SDPS, transmission line supports, etc. This article is devoted to the solution of the issues that arose earlier, regarding the possible causes of uncontrolled and until now subsidence of individual buildings and structures of the industrial zone, as well as city buildings. **The purpose of the article.** Obtaining during the research some missing data on the morphology of eolian and alluvial sands within the city of Energodar, in particular, reliable quantitative indicators that can be used in the calculations of soil bases. **Conclusions.** The results of the soil morphology indicator determination, as well as the study of the shape and nature of the sand grains surface for alluvium of the Vitachevo-Buzka horizon of the 1st floodplain terrace of the Dnipro River valley within the city of Energodar are presented. The results of similar works on the study of genetic types of Quaternary sands of different genesis in the Dnipro River valley were also analyzed. Thanks to the research, data were obtained on the morphology of monomineral oligomictic alluvial sands, their shape and the nature of the sand grains surface of alluvium. Since quartz was the predominant mineral in most of the studied sands, in further studies it is planned to study other mineral differences, which would allow obtaining data on the formation of contacts between sand grains, the shape of which is different from a sphere, lamellar or other shape. For the first time, some basic morphological characteristics of the eolian and alluvial Quaternary sands of the Dnipro valley in Energodar were obtained. Attention is paid to the clarification of the concept of eolian deposits, the determination of their formation age is problematic. The trend of decreasing morphology of river sands of the Dnipro valley from its sources to its mouth is determined. With all confidence, the results of the research can be applied to the foundations of buildings in Energodar.

Keywords: *sandy soils; sand particles; contacts between grains; number of grains; rolling of grains; grain sphericity; grain morphology; sand fractions*

Постановка проблеми. Припущення, що на властивості піщаних ґрунтів, крім інших факторів, можуть впливати і морфологічні особливості самих пісків еолово-алювіального генезису, з'явилося ще в ході аналізу даних високоточних геодезичних спостережень за осіданнями та кренами будівель і споруд у районі м. Енергодар. Заслужують на увагу й дані інженерних досліджень. Зміна властивостей піщаних ґрунтів має найбільше значення для штучних поверхневих споруд промзони і самого міста, а саме: підпірних стінок, так званих світлових дворів енергоблоків та ВРП Запорізької ДРЕС, опор ЛЕП та ін.

Стаття присвячена рішенням частини питань, що виникли раніше, стосовно

можливих причин некерованих і до теперешнього часу осідань окремих будівель і споруд промзони, а також міських будівель.

Фізико-географічні та техногенні умови. У геоморфологічному відношенні територія досліджень розташована в межах першої надзаплавної (піщаної) лівобережної тераси р. Дніпро вітачівсько-бузького віку, що на лівому березі Каховського водосховища. До початку будівництва досліджувана територія належала до акваторії Каховського водоймища, утвореного, в основному, у затоплених заплаві р. Конка та, частково, на береговій терасі р. Дніпро, яка відрізнялася еоловими формами рельєфу (так званими

«кучугурами»), з абсолютними відмітками поверхні від 16,00 м до 25,00 м.

Інженерно-геологічна характеристика ділянки. У геологічній будові ділянки досліджень беруть участь граніти архей-протерозойського віку, що складають кристалічний фундамент українського Щита, перекриті товщею каолінів кори вивітрювання, а також глинами сірогозького (раніше харківського) ярусу палеогену, які ймовірно, залягають на піщаниках бучацького ярусу. Глини зеленувато-сірі, щільні, з рідкими включеннями пісковика.

Палеогенові глини підстиляють товщу четвертинних алювіальних пісків. На глинах залягають алювіальні щільні піски, як правило, середньої крупності потужністю до 12 м. Вище залягають дрібні еолово-алювіальні піски природного складання, від пухких до щільних, максимальною потужністю до 20 м. У товщі дрібних пісків зустрічаються заплавні супіски і суглинки, темно-сірі, із домішками рослинних залишків, м'якопластичної консистенції, потужністю 0,2–3,8 м. Уся піщана товща нижче РГВ обводнена. Дрібнозернисті піски середньої щільності складають, як правило, основу більшості будівель та споруд промзони і м. Енергодар.

Як зазначалося вище, особливість району розташування м. Енергодар – це наявність «кучугур» – форм рельєфу еолового генезису, притаманних і деяким іншим ділянкам долини р. Дніпро. Наприклад, еолові форми рельєфу подекуди збереглися поблизу проммайданчика ДРЕС. Як указано в матеріалах інженерних досліджень, відклади палеогену (харківські, а пізніше сірогозькі шари) перекриваються саме товщею еолово-алювіальних пісків верхнього та сучасного відділів четвертинної системи.

Зауважимо, що в подальших матеріалах інженерно-геологічного вивчення району сам термін «еолові» фактично стає розмитим, можливо, через те, що цей тип відкладів хоча і дуже цікавий із будівельної точки зору, але маловивчений і в багатьох геологічних довідниках умовно віднесений до проблематичного віку (eolQIII–IV).

Зазначимо, що межі між еоловими та еолово-алювіальними відкладами території, що розглядається, точно ніколи не визначалися. Принципи їх поділу, як і глибини, і потужності їх розташування у більшості випадків поки неясні, як і морфологічні особливості самих пісків.

Аналіз матеріалів інженерних досліджень у період експлуатації об'єктів. Основні геологічні ризики на території промзони, проммайданчика ДРЕС та м. Енергодар пов'язані з розвитком екзогенних геологічних процесів, таких як поширення техногенних ґрунтів із підвищеною стисливістю та низькою несною здатністю. Згідно з матеріалами інженерних досліджень, останніми роками з'явилися факти, які вказують на техногенне розущільнення дрібних пісків зворотні засипки.

На проммайданчику Запорізької ДРЕС, де були розкриті пухкі насипні ґрунти, зокрема, в районі трансформаторів, здебільшого вони простежувались уздовж траси міського каналізаційного колектора діаметром 1 500 мм, що перетинає промзону. Ймовірна причина їх виникнення – суфозійний винос піску через неякісно заладені стики. Пухкі дрібні піски під час замочування дають значні осідання з руйнуванням складання в 25...30 % тільки за рахунок власної ваги. Піски гранично-пухкої структури під час замочування дають осідання в 25...30 % лише за рахунок власної ваги. За невеликих динамічних впливів (0,4...0,6 г) осідання зростає ще на 10...15 %.

Мета статті. Як зазначалося у звітних матеріалах з інженерно-геологічного вивчення району м. Енергодар, причини техногенного розущільнення поверхневих піщаних ґрунтів на окремих ділянках і досі не з'ясовані. Причому в деяких звітах за результатами експериментальних досліджень, зокрема і ДІБІ (нині – ПДАБА), було визначено, що динамічна стійкість пісків змінюється залежно від їх структурних особливостей. Як відомо, найбільший вплив на динамічну стійкість пісків чинить щільність їх складання, розмір часток, наявність на їх поверхні «плівок»

змішаного типу, а також, що особливо важливо – ступінь округленості зерен піску.

Аналізуючи результати досліджень дрібнозернистих пісків, від пухкого до щільного складання, зокрема, і добре обкатаних, за деякими наявними уривчастими даними був навіть зроблений висновок, що пухкі піски за динамічних навантажень мають низьку динамічну стійкість, яка збільшується зі збільшенням щільності складання. Підвищення кількості пилювато-глинистих частинок та утворення гідрофільної плівки (через сорбцію нафтопродуктів, СПАР) спричиняють ще більше зниження динамічної стійкості пісків.

Явище віброповзучості зазвичай береться до уваги у розрахунках загального осідання основ шляхом уведення знижувальних коефіцієнтів до модуля деформації. Вважається, що стабілізація віброповзучості та осідань настає через 3–4 роки, але на деяких ділянках промзони віброповзучість пісків проявляється вже протягом 15 років і більше, що свідчить про вплив додаткових техногенних факторів (ймовірно – підвищення рівня та температури ґрунтових вод, зменшення щільності пісків основ, насичення ґрунтових вод нафтопродуктами тощо.).

Цілком можливі й інші причини, що раніше не розглядалися. Зокрема, свого часу зовсім недостатньо було приділено уваги поглибленому вивченню морфологічних характеристик четвертинних еолово-алювіальних пісків, розвинених у верхній частині розрізу (у «кучугурах»), на яких були раніше в основному розташовані майданчики міської та промислової забудови.

Морфологічні характеристики пісків, як і інші, мають бути вивчені згідно з вимогами РД 34 15.073-91 [8]. Ураховуючи, що вищезгаданий документ побачив світ уже після завершення основних робіт будівельного циклу на об'єктах промзони та міста, а його положення згодом не були враховані, чисельні показники основних морфологічних характеристик пісків і досі не визначені. З цієї причини вивчення

деяких морфологічних особливостей еолово-алювіальних пісків району м. Енергодар і стало основною метою проведених досліджень, причому визначення достовірних кількісних показників ґрунтів, які можуть бути використані в розрахунках ґрунтових основ, особливо важливе.

Методика проведених досліджень. Морфологічні дослідження включають виявлення характеристик форми і характеру поверхні зерен різних літолого-генетичних і мінералого-петрографічних різновидів пісків. У гідротехнічному та енергетичному будівництві згідно з РД 34 15.073-91 прискорене оцінювання морфології зерен піщаних фракцій розміром 0,05...2,0 мм проводиться так званим експрес-методом – витіканням наважки фракції повітряно-сухого піску зі стандартної скляної лійки.

Умовною характеристикою загальних особливостей морфології зерен пісків є показник морфології зерен λ , який визначається як функція часу закінчення наважки фракції повітряно-сухого піску з лійки. Комплект обладнання для визначення показника морфології зерен пісків включає штатив, тримач воронки, скляну лійку, засувку, обойму-тримач засувки, стрижень засувки, склянку для відсіпання наважки, приймальний стакан, секундомір, технічні ваги, важки (гирі).

Спочатку пісок із проб висушується за температури 105 °С, після чого розсіюється на фракції, причому маса кожної одиничної фракції повинна становити 150 г. Допускається вивчення морфології зерен піску на меншій масі контрольованих фракцій (до 50...30 г), проте зменшення маси фракцій викликає зниження точності вимірювання часу її витікання, а також потребує внесення корективів у розрахункові залежності. Наважку кожної фракції пропускають через лійку з вимірюванням часу. Число паралельних дослідів має забезпечувати обчислення достовірного значення середнього часу закінчення наважування фракції піску, що досліджується. Рекомендується проводити не менше 10–15 паралельних дослідів.

Після закінчення досліду проводять контрольне зважування наважки фракції досліджуваного піску. Первинна обробка долідних даних проводиться в процесі досліду і полягає в обчисленні для кожної фракції піску середнього часу закінчення наважування фракції, що вивчається (t_{dcp}) і відповідного показника морфології зерен даної фракції (λ). Середній час закінчення наважування фракції досліджуваного піску визначається як середньоарифметичне значення часу закінчення з числа проведених дослідів.

Для оперативного геотехнічного контролю за зведенням земляних споруд для піщаних ґрунтів рекомендується використовувати таку формулу:

$$\lambda = A / (K_1 \cdot t_{dcp,a}), \quad (1)$$

де t_{dcp} – час закінчення наважування фракції піску, с; K_1 – коефіцієнт, що залежить від маси наважки в досліді; A – коефіцієнт, що дорівнює 4,3 для лійки діаметром 1 см; залежить у загальному випадку від розміру, щільності твердих частинок і маси наважки фракції піску, що вивчається (приймається за табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнта А для фракцій піску різної щільності

Щільність твердих частинок, г/см ³	Значення коефіцієнта А для фракцій піску, мм				
	0,05...0,1	0,1...0,25	0,25...0,5	0,5...1,0	1,0...2,0
2,64	3,32	4,14	5,12	6,55	9,79
2,65	3,31	4,12	5,11	6,54	9,75
2,66	3,30	4,10	5,09	6,50	9,70
2,67	3,28	4,09	5,06	6,49	9,67

Нижче наведено значення поправкового коефіцієнта K_1 для нестандартних мас наважки: при масі фракцій (у грамах) 150; 100; 50; 30 г значення коефіцієнта K_1 буде становити 1; 1,3; 3,0; 5,4 відповідно.

Остаточна обробка дослідних даних полягає в обчисленні чисельних значень (стандартних) показників форми зерен пісків, класифікації пісків за морфологією зерен та у графічному зображенні отриманих результатів. Обрахування чисельних значень традиційних показників форми зерен α , β , K проводиться на підставі кореляційних залежностей між ними та показником морфології зерен λ . Значення коефіцієнта сферичності β обчислюється за такою формулою:

$$\beta = K / \alpha, \quad (2)$$

де α та K – коефіцієнти заокругленості та форми зерен відповідно, обчислені за графіками (див. рис. 1) залежно від значення показника морфології зерен λ .

Так само для практичних цілей за морфологічними ознаками піски можна поділити на дві групи за ступенем обробленості піщаних фракцій. А також

додатково ще на чотири підгрупи – за характером обкатаності та сферичності зерен переважної фракції (табл. 2). Окрім того, морфологічний вид піску допускається встановлювати візуальними спостереженнями зерен за допомогою бінокулярного мікроскопа. А також, за наявності відповідного обладнання, за фотографіями зерен на електронному мікроскопі [4; 6; 10].

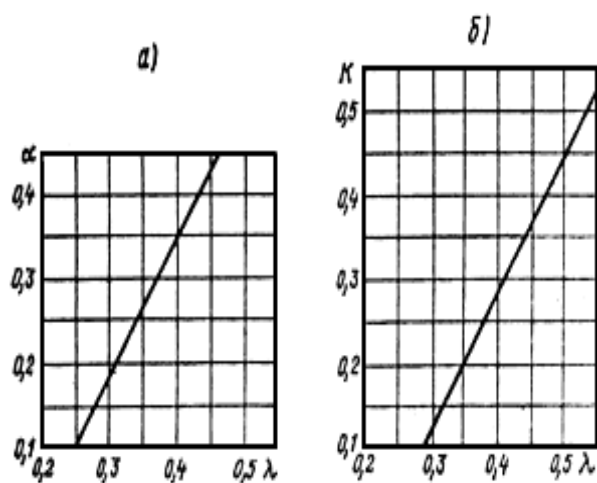


Рис. 1. Графіки залежності коефіцієнта округленості (а) та коефіцієнта форми зерен (К) від значень показника морфології зерен піску λ

Таблиця 2

Класифікація піску за основними морфологічними ознаками

Тип піску	Підтип піску
I. Необроблений, $\lambda \leq 0,4$	Кутасто-несферичний, $\alpha \leq 0,35; \beta \leq 0,8$
	Кутасто-сферичний, $\alpha \leq 0,35; \beta > 0,8$
II. Оброблений, $\lambda > 0,4$	Обкатано-несферичний, $\alpha > 0,35; \beta \leq 0,8$
	Обкатано-сферичний, $\alpha > 0,35; \beta > 0,8$

Таблиця 3

Характеристика складу та морфологічних особливостей пісків долини р. Дніпро

Генетичний індекс піску	Місце відбору проби	Характеристика гранулометричного складу піску	Мінеральний склад піску	Показник морфології λ	Характеристика піску за морфологією
aQIV	Трипільська ТЕЦ	Дрібні однорідні	Полімінеральні піски	0,449	Оброблені, обкатано-сферичні, грубополіровані, великоямчасті
aQIV	Чигиринська ДРЕС	Дрібні однорідні	Мономінеральні	0,324	Необроблені кутасто-несферичні, лускаті
aQIV	м. Придніпровськ, район гирла р. Самара	Дрібні однорідні	Мономінеральні	Немає даних	Зерна малорухливі, слабо або добре обкатані в рівних співвідношеннях, із гладкою блискучою поверхнею частинок
aQIV	м. Дніпро, Монастирський острів	Середні однорідні	Мономінеральні	0.210	Зерна належать до необроблених кутасто-несферичних

Сьогоднішні дослідження були далеко не єдиними у своєму роді дослідженнями з вивчення властивостей пісків. І цьому питанню різні автори приділяли пильну увагу, особливо в останні роки. Зокрема, у працях [5; 7; 9] йшлося про вивчення кількох видів пісків континентального генезису четвертинного віку.

Із піщаних відкладів долини р. Дніпро вивчено кілька генетичних різновидів пісків, які в результаті постгенетичних процесів набули різної форми. У таблиці 3 наведено характеристику складу та морфологічних особливостей вивчених пісків долини р. Дніпро.

Як випливає з таблиці 3, дані про чисельні показники морфології всіх типів пісків у нижній течії р. Дніпро, у т. ч. в районі м. Енергодар, відсутні або про них нічого не відомо. Також не виявлено відомостей про будь-які чисельні морфологічні показники саме еолово-

алювіальних та чисто еолових пісків долини р. Дніпро взагалі, оскільки усі раніше виконані дослідження стосувалися переважно лише алювіальних відкладів. У низці раніше опублікованих наукових статей також показано, що морфологічні особливості пісків, які є їх невід'ємною структурною характеристикою, багато в чому визначають максимальну молекулярну вологоємність, граничні щільності складання пісків.

Ці показники, своєю чергою, впливають на їх міцності й деформаційні характеристики. Установлено, що різний склад рідини, яка фільтрується через товщу пісків, по-різному впливає і на їхню стійкість до суфозії [7; 12]. Що ж до властивостей міцності, то ще М. М. Гольдштейн у своїх працях зазначав, що опір піску зсуву залежить від багатьох компонентів, у тому числі й від форми його частинок [2]. Також форма частинок

впливає і на поведінку ґрунтів за динамічних впливів. Як зазначав ще К. Терцагі, найбільш нестійкі (з погляду їх розрідження) піски містять велику кількість обкатаних зерен. І. Т. Валішев під час обробки дослідів із різними пісками отримав чисельну залежність їх критичного прискорення, яка містить у тому числі коефіцієнт, котрий ураховує форму частинок. Доречно також згадати, що будівництво на еолових пісках взагалі пов'язане з істотними труднощами. Як вказували низка дослідників, навіть домішки пісків певного генезису до інших ґрунтів здатні серйозно погіршити деформаційні та міцнісні властивості ґрунтів основ споруд, особливо транспортних [0; 3; 11; 13; 14].

Результати досліджень. Проби піщаних ґрунтів для лабораторних досліджень були відібрані під час проходження інженерно-геологічних свердловин у промзоні поблизу Запорізької ДРЕС. Свердловини були пройдені фактично на межі збереженого природного рельєфу і спланованої території, представленої, як уже згадано вище, у верхній частині геологічного розрізу четвертинною, по суті піщаною товщею, яку традиційно відносять до вітачівсько-бузького горизонту (vaQIIIvt-bg) першої підзапвної тераси лівого берега долини р. Дніпро.

Корінні піски верхніх горизонтів четвертинних відкладів дрібні, кварцові, жовті та жовто-сірі, середньої щільності, водонасичені. У складі зерен переважає піщана фракція з розміром частинок 0,10–0,25 мм у кількості 33–56 %. Піски неоднорідні за складом зерен. По решті свердловин дрібні піски більш однорідні за складом зерен, ступінь неоднорідності не перевищує (в основному) 4–6, а 50 % проб показали однорідний склад зерен. Однак при цьому сама щільність складання та фізичні характеристики досить близькі по всій товщі. Щільність частинок піску становить у середньому 2,65 г/см³, причому така щільність притаманна всім дрібним піскам

проммайданчика у верхній частині геологічного розрізу.

Обробку та аналіз проб пісків виконали фахівці ґрунтової лабораторії «Дніпро ДІНТР» ДФ ДП «УкрНДІНТВ» (м. Дніпро) у травні 2022 року. Визначено середньозважений гранулометричний склад пісків (табл. 4).

Таблиця 4

Середньозважений гранулометричний склад пісків

Діаметри частинок, мм	Зміст фракцій, %
2–5	0,3
1–2	0,5
0,5–1	2,4
0,25–0,5	27,7
0,1–0,25	57,5
<0,1	11,6

Як уже згадувалося, розріз верхньої частини осадового нашарування в місцях проходки свердловин представлений четвертинними алювіальними різнозернистими пісками вітачівсько-бузького горизонту (vaQIIIvt-bg), схильними з поверхні до еолової переробки. Дрібні піски у відібраних пробах кварцові, мономінеральні, жовтувато-сірі та світло-сірі. Піски в основному однорідні, ступінь неоднорідності становить 2, 4, однак у загальній товщі трапляються й неоднорідні за складом зерен піщані прошарки зі ступенем неоднорідності зерен, що дорівнює 3,2. Під мікроскопом поверхня частинок кварцу гладка, блискуча. У пробах піску відмічені поодинокі включення дрібного гравію, що взагалі характерно для еолових пісків. Як випливає з таблиці 4, переважають фракції 0,25–0,5 мм і 0,1–0,25 мм.

Як неодноразово вказано в профільній технічній літературі, у визначенні морфологічних показників пісків із фракцією менше ніж 0,1 мм немає сенсу, тому що частинки дрібних фракцій переважно переносяться у завислому стані й тому повільно змінюють свою форму. Також немає сенсу, виходячи з вимог забезпечення стандартної маси наважки і мінімально необхідної кількості паралельних дослідів, що разом впливають на точність

розрахунків, обчислення показників незначно або мало представлених фракцій. Таким чином, морфологічні показники визначені лише для переважаючих фракцій 0,25–0,5 мм та 0,1–0,25 мм.

Значення коефіцієнта A за таблицею 1 для розрахунку параметрів морфології за даними розсівання пісків за прийнятою щільністю частинок $2,65 \text{ г/см}^3$ складає для фракцій:

0,25–0,5 мм – 5,11;

0,1–0,25 мм – 4,12.

Відповідно до формули (1) чисельні значення показників морфології пісків λ складають для фракцій:

0,25–0,5 мм – 0,230;

0,1–0,25 мм – 0,191.

Для розрахунку середньозваженого значення $\lambda_{\text{ср}}$ для дрібних пісків промислового майданчика використано формулу (3) (див. Додаток 11 до РД 34 15.073-91). На підставі розрахунку, урахувавши відсотковий вміст випробуваних фракцій, для проб піску згідно з таблицею 4, середньозважений показник морфології зерен $\lambda_{\text{ср}}$ для дрібних пісків становить 0,204.

За комплексом морфологічних параметрів зерна всіх фракцій даного піску, згідно із графіками на рисунку 1 та за таблицею 2, відносять до необроблених ($\lambda \leq 0,4$), кутасто-несферичних ($\alpha \leq 0,35$; $\beta \leq 0,8$). Під мікроскопом поверхня частинок кварцу гладка, блискуча. Більш поглиблена характеристика піщаних зерен різних фракцій відповідно до таблиці 11 «Рекомендацій з комплексного вивчення та оцінки будівельних властивостей піщаних ґрунтів», така: фракції 0,25...0,5 мм і 0,1...0,25 мм за коефіцієнтом округленості зерен α дуже кутасті, за коефіцієнтом сферичності β класифікуються як несферичні та анізотричні, а за показником морфології λ – як вельми необроблені.

Науковою новизною цієї роботи можна вважати отримання чисельних параметрів морфології для еолово-алювіальних пісків району м. Енергодар. Порівнюючи з отриманими чисельними значеннями дані

таблиці 3, можна відмітити тенденцію зниження показника морфології у річкових пісків долини р. Дніпро від витоків до гирла. Але оскільки вже виконані дослідження є за фактом точковими, для підтвердження цього припущення необхідно провести додаткові численні дослідження пісків нижче за течією, наприклад, у районі м. Каховки та м. Херсон.

Також необхідно продовжити морфологічне вивчення пісків долини р. Дніпро більш глибоких горизонтів, що дозволило б отримати дані щодо формування контактів між піщаними зернами, несферичними або пластинчастою чи іншої форми. Для точного установлення межі розділу між пісками різного генезису необхідно внести необхідні уточнення в процесі відбору проб піску з розвідувальних свердловин, збільшуючи як кількість інтервалів випробування вздовж свердловини, так і обсяг самих проб, виходячи з особливостей методики проведення морфологічних досліджень. Зокрема, маса проби висушеного до постійної маси піску для морфологічних досліджень повинна складати не менше ніж 5 кг.

Висновки. У результаті проведених досліджень зразків пісків установлено, що середньозважений показник морфології для дрібних еолово-алювіальних пісків району м. Енергодар складає 0,204. За основними морфологічними ознаками зерна всіх основних фракцій пісків належать до необроблених, кутасто-несферичних. Також проаналізовано результати аналогічних робіт із вивчення генетичних типів четвертинних пісків різного генезису долини р. Дніпро, де були отримані дані про морфологію мономінеральних олігоміктових алювіальних пісків, форму та характер поверхні піщаних зерен алювію.

Слід зазначити, що деякі морфологічні характеристики четвертинних пісків долини р. Дніпро у межах м. Енергодар отримано вперше. На підставі отриманих даних можна відмітити тенденцію зниження показника морфології у річкових пісках долини р. Дніпро від витоків до гирла. У подальших

дослідженнях намічено вивчення річкових пісків долини р. Дніпро із глибших горизонтів з метою отримання даних про формування контактів між зернами піску несферичної, пластинчастої або іншої форми.

Результати проведених досліджень гарантовано можуть бути імплементовані до розрахунків показників піщаних ґрунтів основ будівель та споруд міста, а також штучних земляних споруд, зокрема, наливних масивів, гідротехнічних споруд

енергетичних об'єктів, різних гребель, ґрунтових підходів до транспортних споруд.

Практична значимість досліджень полягає у впровадженні отриманих показників морфології еолово-алювіальних відкладів у розрахунки, що можуть бути імплементовані і до ґрунтів основ будівель м. Енергодар, а також можна використовувати отримані результати для обчислення некерованих осідань деяких споруд та будівель промзони визначеної території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдукамілов Ш. Ш. Несущая способность земляного полотна, отсыпанного барханными песками, воспринимающими повышенную вибродинамическую нагрузку. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2011. 161 с.
2. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов (напряженно-деформационные и прочностные характеристики). Москва : Стройиздат, 1979. 304 с.
3. Колос А. Ф., Турсунов Х. И., Николайтис Д. С. Исследование прочностных свойств балластного материала, засоренными барханными песками. *Инженерный вестник Дона*. № 1. 2013. С. 10
4. Кухарь В. Ю., Зиборов А. П. О необходимости научного обеспечения перевода на большие глубины добычных работ на месторождениях строительных материалов шельфа Чёрного моря. *Геология і корисні копалини світового океану*. 2007. № 1 (7). С. 120–130.
5. Осипов В. И. Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах. ИГЭ РАН. Москва : ИФЗ РАН, 2012. 74 с.
6. Платов Н. А., Потапов А. Д., Лебедева М. Д. Песчаные грунты. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 254 с.
7. Потапов А. Д., Потапов И. А., Шименкова А. А. Некоторые аспекты применимости к песчаным грунтам положений физико-химической теории эффективных напряжений. *Вестник МГСУ*. 2012. № 10. С. 229–239.
8. РД 34 15.073-91. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. Санкт-Петербург : ВНИИГ, 1991. 434 с.
9. Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов. Москва : Стройиздат, 1984. 212 с.
10. Слюсаренко С. А., Степаненко Г. Н., Глотова М. А., Новиков М. Ф. Проектирование и устройство фундаментов на наливных песчаных грунтах. Київ : Будівельник, 1990. 128 с.
11. Bely L. D., Doudler I.V., Mosiakov E. F., Potapov A. D., Julin A. N. Research methods and evaluation of various genesis sand grain morphology role in formation of their geological-engineering properties. *Bulletin of IAEG*. № 11. Krefeld, 1975. Pp. 27–31.
12. Huang Yamei, Wang Lihua. Effect of Particle Shape of Limestone Manufactured Sand and Natural Sand on Concrete. *Procedia Engineering*. January 2017. № 210. Pp. 87–92.
13. Yunhu Xie, Xiaohong Dang, Yujuan Zhou, Zhihui Hou, Xiaojia Li, Hongtao Jiang, Dandan Zhou, Ji Wang, Chunxing Hai, Ruiping Zhou. Using sediment grain size characteristics to assess effectiveness of mechanical sand barriers in reducing erosion. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Pp. 14009.
14. Fepu Supriani, Mukhlis Islam, Yuzuar Afrizal. Sand type characteristics analysis and mapping in Bengkulu. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. 2019. № 314. Pp. 012058.

REFERENCES

1. Abdukamilov Sh.Sh. *Nesushaya sposobnost zemlyanogo polotna, otsypannogo barhannymi peskami, vosprininayushimi povyshennuyu vibrodinamicheskuyu nagruzku. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnikeskikh nauk* [The bearing capacity of the subgrade, backfilled with dune sands, perceiving an increased vibrodynamic load. Thesis for the degree of candidate of technical sciences]. Saint Petersburg, 2011, 161 p. (in Russian).
2. Goldshtejn M.N. *Mehanicheskie svoystva gruntov (napryazhyonno-deformacionnye i prochnostnye harakteristiki)* [Mechanical properties of soils (stress-strain and strength characteristics)]. Moscow : Stroizdat Publ., 1979, 304 p. (in Russian).

3. Kolos A.F., Tursunov H.I. and Nikolajtist D.S. *Issledovanie prochnostnyh svojstv ballastnogo materiala, zasorennymi barhannymi peskami* [Study of the strength properties of ballast material clogged with dune sands]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Don Engineering Gazette]. 2013, no. 1, p. 10. (in Russian).
4. Kuhar V.Yu. and Ziborov A.P. *O neobhodimosti nauchnogo obespecheniya perevoda na bolshie glubiny dobychnyh rabot na mestorozhdeniyah stroitelnyh materialov shelfa Chyornogo morya* [On the need for scientific support for the transfer to great depths of mining operations in the deposits of building materials of the Black Sea shelf geology]. *Geologiya i korisni kopalini svitovogo okeanu* [Geology and Minerals of the World Ocean]. 2007, no. 1 (7), pp. 120–130. (in Russian).
5. Osipov V.I. *Fiziko-himicheskaya teoriya effektivnyh napryazhenij v gruntah* [Physical and chemical theory of effective stresses in soils]. Moscow : IFZ RAN Publ., 2012, 74 p. (in Russian).
6. Platov N.A., Potapov A.D. and Lebedeva M.D. *Peschanye grunty* [Sandy soils]. Moscow : ASV Publ., 2010, 254 p. (in Russian).
7. Potapov A.D., Potapov I.A. and Shimenkova A.A. *Nekotorye aspekty primenimosti k peschanyh gruntam polozhenij fiziko-himicheskoy teorii effektivnyh napryazhenij* [Some aspects of the applicability of the physical and chemical theory of effective stresses to sandy soils]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU]. 2012, no. 10, pp. 229–239. (in Russian).
8. *RD 34 15.073-91. Rukovodstvo po geotekhnicheskomu kontrolyu za podgotovkoy osnovaniy i vozvedeniyem gruntovykh sooruzheniy v energeticheskom stroitel'stve* [RD 34 15.073-91. Guidance on geotechnical control over the preparation of foundations and the construction of soil structures in power engineering]. Saint-Petersburg : VNIIG Publ., 1991, 434 p. (in Russian).
9. *Rekomendacii po kompleksnomu izucheniyu i ocenke stroitelnyh svojstv peschanyh gruntov* [Recommendations for a comprehensive study and assessment of the building properties of sandy soils]. Moscow : Strojizdat Publ., 1984, 212 p. (in Russian).
10. Slyusarenko S.A., Stepanenko G.N., Glotova M.A. and Novikov M.F. *Proektirovanie i ustrojstvo fundamentov na namyynyh peschanyh gruntah* [Design and installation of foundations on alluvial sandy soils]. Kyiv : Budivelnik Publ., 1990, 128 p. (in Russian).
11. Bely L.D., Doudler I.V., Mosiakov E.F., Potapov A.D. and Julin A.N. Research methods and evaluation of various genesis sand grain morphology role in formation of their geological-engineering properties. *Bulletin of IAEG*. No. 11, Krefeld, 1975, pp. 27–31.
12. Huang Yamei and Wang Lihua. Effect of Particle Shape of Limestone Manufactured Sand and Natural Sand on Concrete. *Procedia Engineering*. January 2017, no. 210, pp. 87–92.
13. Yunhu Xie, Xiaohong Dang, Yujuan Zhou, Zhihui Hou, Xiaojia Li, Hongtao Jiang, Dandan Zhou, Ji Wang, Chunxing Hai and Ruiping Zhou. Using sediment grain size characteristics to assess effectiveness of mechanical sand barriers in reducing erosion. *Scientific Reports*. 2020, vol. 10, pp. 14009.
14. Fepy Supriani, Mukhlis Islam and Yuzuar Afrizal. Sand type characteristics analysis and mapping in Bengkulu. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. 2019, no. 314, pp. 012058.

Надійшла до редакції: 10.02.2023.