

DOI
MRNTI 54.35.15

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ Г.ТЕМИРТАУ

ТЕМИРТАУ ҚАЛАСЫ АУМАҒЫНЫҢ ТӨРТТІК ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРАМНЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

INFLUENCE OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF QUATERNARY DEPOSITS: A CASE STUDY FROM TEMIRTAU

Д.И. Вдовкина ¹, М.В. Пономарева ^{2*}, Е.В. Пономарева ²

¹АО «QARMET», г. Сарань, Казахстан

²НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова», г. Караганда, Казахстан

*Автор-корреспондент: Пономарева Марина Викторовна, e-mail: mv_ponomareva@mail.ru

Ключевые слова:

четвертичные отложения,
грунты, физические
свойства грунтов,
инженерно-
геологические изыскания,
глинистая фракция,
корреляционный анализ,
пористость, естественная
влажность.

АННОТАЦИЯ

В условиях активного развития строительной отрасли Казахстана возрастает необходимость инженерно-геологических исследований, направленных на оценку свойств грунтов, выступающих в качестве оснований зданий и сооружений. Основаниями зданий и сооружений служит преимущественно комплекс четвертичных отложений, который характеризуется высокой литологической и фациальной неоднородностью. Важным параметром, оказывающим влияние на физические свойства горных пород, является их гранулометрический состав. По результатам инженерно-геологических изысканий в г. Темиртау было проведено рекогносцировочное обследование территории, пробурено 144 скважины глубиной до 15 м, замерен уровень грунтовых вод, отобрано 115 проб грунта и определены их физические характеристики в лаборатории. По данным лабораторных исследований был проведен корреляционный анализ, который показал наличие устойчивых зависимостей между влажностью и содержанием частиц размером менее 0.05 мм ($R^2 = 0.75$), а также между числом пластичности и содержанием глинистой фракции ($R^2 = 0.52$). Выявленные закономерности подтверждают ключевую роль гранулометрического состава в формировании гидрофизических и механических характеристик грунтов и подчёркивают его значимость для инженерно-геологической оценки и обоснования проектных решений.

Түйінді сөздер:

төрттік шөгінділер,
топырақтар, топырақтың
физикалық қасиеттері,
инженерлік-геологиялық
зерттеулер, саз
фракциясы,

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазақстанның құрылыс саласының белсенді дамуы жағдайында нимараттар мен құрылыстардың негізі ретінде әрекет ететін топырақтың қасиеттерін бағалауға бағытталған инженерлік-геологиялық зерттеулердің қажеттілігі артып келеді. Нимараттар мен құрылыстардың іргетасы негізінен литологиялық және фациальды әртектілікпен сипатталатын төрттік шөгінділер кешені



корреляциялық талдау,
кеуектілік, табиғи
ылғалдылық

болып табылады. Тау жыныстарының физикалық қасиеттеріне әсер ететін маңызды параметр олардың гранулометриялық құрамы болып табылады. Инженерлік-геологиялық зерттеулердің нәтижелері бойынша Теміртау қаласында аумақты барлау жұмыстары жүргізілді, тереңдігі 15 м-ге дейінгі 144 ұңғыма бұрғыланды, жер асты суларының деңгейі өлшенді, 115 топырақ сынамасы алынды және зертханада олардың физикалық сипаттамалары анықталды. Зертханалық зерттеулерге сәйкес ылғалдылық пен бөлшектердің мөлшері 0.05 мм-ден аз ($R^2 = 0.75$), сондай-ақ икемділік саны мен саз фракциясының құрамы ($R^2 = 0.52$) арасында тұрақты тәуелділіктердің болуын көрсететін корреляциялық талдау жүргізілді. Анықталған заңдылықтар топырақтың гидрофизикалық және механикалық сипаттамаларын қалыптастырудағы гранулометриялық құрамның негізгі рөлін растайды және оның инженерлік-геологиялық бағалау мен жобалық шешімдерді негіздеу үшін маңыздылығын көрсетеді.

Keywords:

Quaternary deposits, soils,
physical properties of soils,
geotechnical survey, clay
particle, correlation
analysis, porosity, water
content

ABSTRACT

In the context of the active development of the construction industry in Kazakhstan, there is a growing need for geotechnical investigation aimed at assessing the properties of soils serving as foundations for buildings and structures. The bases of constructions are predominantly composed of Quaternary deposits, which are characterized by high lithological and facies heterogeneity. One of the key parameters influencing the physical properties of soils is their particle size distribution. Based on the geotechnical survey in Temirtau city, a reconnaissance study of the territory was conducted, 144 wells up to 15 m deep were drilled, the groundwater level was measured, 115 soil samples were taken and their physical characteristics were determined in the laboratory. Using the laboratory data, a correlation analysis was performed, revealing strong relationships between water content and the fraction of particles smaller than 0.05 mm ($R^2 = 0.75$), as well as between the plasticity index and clay particle content ($R^2 = 0.52$). The identified correlations confirm the key role of particle size distribution in shaping the hydro-physical and mechanical properties of soils and emphasize its importance for engineering-geological assessment and the justification of design solutions.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях активного роста научно-технического прогресса значительно усиливается антропогенное воздействие на природную среду. Хозяйственная и промышленная деятельность человека активно изменяют поверхностную часть земной коры, зачастую в большей степени, чем под влиянием природных процессов. Это интенсивное воздействие человека на геологическую среду делает необходимым изучение инженерно-геологических условий для урбанизированных и техногенно-нагруженных территорий, а также прогнозирование изменений, которые могут произойти под воздействием человеческой деятельности на протяжении длительного времени (Tamasa et al., 2024). Под инженерно-геологическими условиями понимаются существующие в данное время особенности геологического строения территории, состава и свойства горных пород, геологических процессов, рельефа и подземных вод (Veress, 2021).

В то же время развитие строительной отрасли требует проведения региональных инженерно-геологических исследований, направленных на обоснование строительства объектов промышленного и гражданского назначения. Инженерно-геологические работы,

проводившиеся на территории Карагандинской области в основном, охватывали небольшие участки, связанные со строительством городов, рабочих поселков и промышленных предприятий. При этом значительная часть территории остается практически не изученной с инженерно-геологической точки зрения.

Важным этапом в проектировании зданий и сооружений является инженерно-геологические изыскания будущего участка строительства, целью которых является комплексное изучение геологических и гидрогеологических условий территории, определение физико-механических и специфических свойств грунтов (Arif et.al., 2019). Наиболее распространенным основанием для фундаментов зданий и сооружений являются четвертичные отложения, образованные в результате физического разрушения и переотложения экзогенными силами (Xia, Liu & Zhang). Они покрывают маломощным чехлом почти всю территорию города Караганды, за исключением вершин сопок. Вместо правильного параллельного напластования далеко прослеживающихся слоев, им свойственна сильная фациальная изменчивость, литологическая пестрота в плане и залегание в виде сложных линзовидных тел.

В условиях столь высокой литологической и генетической неоднородности особенно важным становится анализ гранулометрического состава, поскольку именно он позволяет установить текстурные особенности пород, проследить тенденции осадочного процесса и оценить инженерно-геологические свойства грунтов (Bolliger, Schlunegger & McArdeil, 2024). Гранулометрический состав является важным седиментологическим параметром, представляющим собой относительное содержание зерен различных размеров в осадках и горных породах (Luna, Araujo & Varona-Gonzales, 2024). Частицы близкие по размерам составляют фракции. Соотношение частиц той или иной фракции является важным критерием для классификации грунтов (Cao, et al., 2024). Размер частиц, слагающих грунты, может изменяться от долей микрона до десятков сантиметров. Изменение размеров слагающих грунты элементов в столь широких пределах будет особенно сильно сказываться на свойствах дисперсных грунтов. К гравийной фракции относятся частицы крупнее 2 мм. Они практически не обладают молекулярной влагоемкостью и капиллярным поднятием воды, характеризуются высокой водопроницаемостью. Частицы песчаной фракции имеют размер от 2 до 0.05мм и обладают молекулярной влагоемкостью и капиллярным поднятием воды. К глинистой фракции относятся частицы размером менее 0.001 мм, которые по своим свойствам близки к коллоидам и, в частности, в суспензии обладают броуновским движением (Zhang, Liu & Wang, 2024). Частицы пылевой фракции имеют размер от 0.05 до 0.001 мм и свойствами коллоидных систем не обладают. Они занимают промежуточное положение между глинистой и песчаной фракциями и по свойствам более близки к песчаной фракции, чем к глинистой (Goczevska-Langer, et al., 2023).

Определение таких параметров, как крупность, сортировка и округлость зерен, играет ключевую роль в реконструкции условий осадконакопления и миграции осадочного материала, а также способствует уточнению генезиса пород (Dembovetsky A., Tyugai Z. & Shein E, 2024). Кроме того, гранулометрический состав тесно связан с физико-механическими свойствами грунтов, что имеет практическое значение при обосновании строительных решений.

Несмотря на широкое распространение четвертичных отложений, их физико-механические свойства могут значительно варьироваться в зависимости от различных факторов, одним из которых является гранулометрический состав (Li et al., 2024).

Исследование гранулометрического состава показало, что такие свойства горных пород как естественная влажность, плотность, пористость (Gorączko and Topoliński, 2020), пластичность (Jyothirmayi, Gnanananda & Suresh), размер частиц (Ueda, Matsushima &

Yamada, 2011) и их форма (Azema, Estrada & Radjai, 2012) имеют ключевое значение для понимания их механических свойств (Dill, 2022; Wang et al., 2013), которые, в свою очередь, влияют на устойчивость и несущую способность фундаментов. Из проведенных исследований понятно, что размер и форма частиц грунта отражают историю формирования зерен – химические процессы определяют размер и форму глинистых пород, а механические – песков и гравия (Wang, Li, Li & Tang, 2021). Угол сопротивления сдвигу увеличивается с увеличением среднего диаметра частиц и содержания гравия, в то время как сила сцепления в большинстве случаев уменьшается (Nguyen, Pham & Truong, 2022). Понимание этой взаимосвязи имеет важное значение для обеспечения надежности и безопасности строительных объектов, особенно в условиях ограниченного количества лабораторных испытаний, которые зачастую проводятся в минимальном объеме с целью экономии денежных ресурсов (Cai & Yu, 2016). Недостаточное количество данных о гранулометрическом составе, может привести к неверной классификации грунтов, и как следствие – неточные расчеты и ошибки в проектировании (Alekseev & Malyshev, 2025).

Таким образом, всестороннее изучение взаимосвязи между гранулометрическим составом и физико-механическими свойствами четвертичных отложений позволит не только правильно оценить инженерно-геологические условия, но и более точно прогнозировать поведение грунтов под нагрузкой, что особенно важно для проектирования и строительства надежных и долговечных зданий и сооружений.

В связи с этим, целью данного исследования является изучение влияния гранулометрического состава на физические свойства четвертичных отложений на примере объекта инженерно-геологических изысканий в г. Темиртау.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведения инженерно-геологических изысканий, на объекте исследования в г. Темиртау были проведены следующие работы:

- пробурено 144 скважины, глубиной от 7 до 15 м;
- открыто 37 шурфов глубиной от 3.1 до 5.0 м;
- замерен уровень грунтовых вод (2.6 – 8.0 м);
- произведен отбор образцов грунта;
- проведено 115 лабораторных испытаний проб грунта для определения физико-механических свойств.

По геоморфологическому строению исследуемая местность представляет собою частично мелкосопочный рельеф, частично поверхность древних террас реки Нура, прислоненных к мелкосопочнику. Следов свежей эрозийной деятельности в виде рытвин и оврагов не зарегистрировано.

Буровыми скважинами на разных глубинах были вскрыты грунтовые воды. По однодневным замерам уровень грунтовых вод в повышенной части рельефа был зафиксирован на глубине 8-5 м от поверхности. Ниже по склону уровень грунтовых вод повышается и в самой пониженной части исследуемой площадки склона глубина залегания грунтовых вод составила 2.6 – 4.0 м. Падение зеркала грунтовых вод на северо-восток соответствует общему падению рельефа. Водовмещающими породами здесь являются пески и супеси современных делювиальных отложений, а также глины и суглинки древне-делювиальных и элювиальных образований. Последние содержат воду в тонких песчаных прослоях, в линзах и карманах песков и супесей, а также в местах скопления щебневого и обломочного материала. В глинах и суглинках вода циркулирует по тончайшим трещинам, поэтому водоотдача их очень мала. Этим объясняется то явление, что в скважинах, расположенных в местах распространения глинистых отложений, уровень грунтовых вод часто устанавливается много часов спустя после

окончания бурения. Все вскрытые воды имеют между собой гидравлическую связь, хотя местами она очень слабая. Тем не менее, все эти воды составляют один бассейн с общим уровнем. Относительным водоупором здесь служат те же элювиальные и делювиальные глины и суглинки. Питание грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков, поэтому уровень их подвержен колебаниям в зависимости от времени года и количества выпадающих осадков.

На основании изучения данных буровых и шурфовых выработок установлено, что верхняя часть разреза на ограниченной территории сложена насыпными грунтами, которые представлены супесями и суглинками с включениями щебня (tQ_4). Мощность слоя составляет до 0,9 м. На остальной территории с поверхности залегает растительный слой мощностью 0,2-0,6 м (Q_2pd). Ниже залегают отложения современного делювия с пестрым литологическим составом. Они представлены преимущественно тяжелыми пылеватыми суглинками, реже глинами коричневого цвета с налетами и мелкими скоплениями солей. К подошве склона, в составе современного делювия преобладают мелкозернистые глинистые пески, местами без резкой границы, переходящие в супеси, с прослоями и линзами суглинков и глин. Часто имеются включения щебня из кристаллических пород разной степени выветрелости (Q_2d). Мощность современного делювия по разрезам выработок колеблется от 0.10 до 6.6м. Под современными делювиальными отложениями залегает толща древнего делювия, которая местами неотделима от элювия кристаллических пород, поскольку делювий состоит из обломков этих же пород. Она представлена в основном глинами, реже суглинками, преимущественно красновато-бурых цветов с неравномерным включением несортированного щебня и крупных обломков и глыб кристаллических пород в разной степени выветрелости от крепких кристаллических до рыхлых (Q_1d+el). Максимальная мощность этих отложений по разрезам скважин 13.60 м. В некоторых местах представлялось возможным выделить под древней делювиальной толщей элювий кристаллических пород. Последний представлен красно-бурыми, местами зеленовато-серыми глинами. Делювиальные глины очень плотные, с частыми гнездами рыхляка, местами с включением кристаллического гипса в виде отдельных друз и скоплений. Мощность их, пройденная скважинами, колеблется в пределах 0.50 – 6.0м.

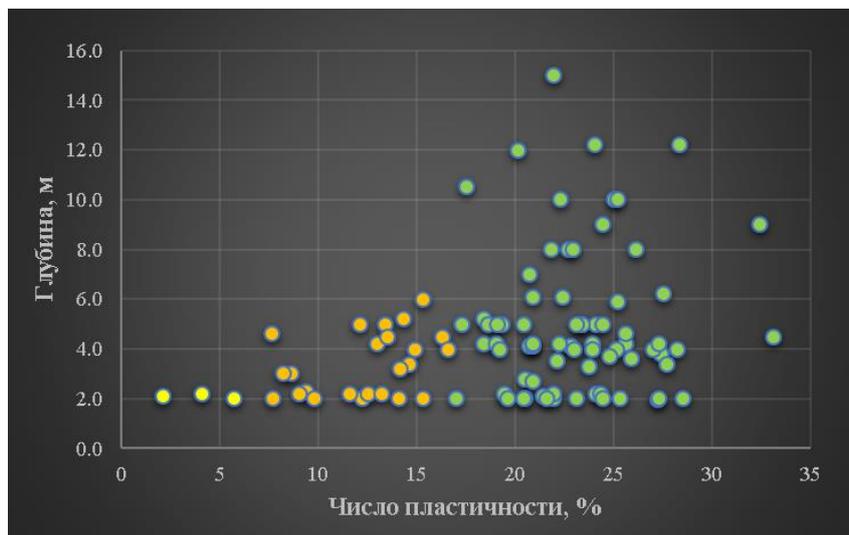
Образцы грунтов, отобранные при проведении инженерно-геологических изысканий представлены различными типами глинистых грунтов, среди которых преобладают пылеватые глины, в меньшей степени пылеватые и песчаные суглинки, единично встречаются супеси с включениями крупнообломочного материала. В таблице 1 представлены нормативные значения следующих физических характеристик грунтов: естественная влажность (W), плотность грунта (ρ), плотность частиц грунта (ρ_s), пористость (e), число пластичности (I_p), показатель текучести (I_L).

Таблица 1. Нормативные значения показателей физико-механических свойств грунтов

Тип грунта	W , %	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	e , %	I_p , %	I_L , д.е.
Суглинок тяжелый песчаный	15.16	1.95	2.71	36.86	10.74	<0 – 0.41
Суглинок легкий пылеватый	24.68	1.88	2.74	44.92	14.18	<0 – 0.45
Глина легкая пылеватая	27.14	1.88	2.76	46.28	23.17	<0 – 0.25
Супесь песчаная	6.93	1.97	2.70	31.60	3.97	<0
<i>Примечание – составлено авторами</i>						

Для выявления тенденций изменения свойств четвертичных грунтов в пределах исследуемой площадки по результатам лабораторных испытаний грунтов были построены графические зависимости, которые легли в основу анализа структурной неоднородности и генетических особенностей четвертичных отложений исследуемой территории.

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения типа грунтов в зависимости от глубины.



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 1. Характер изменения числа пластичности по глубине

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

Анализируя данную зависимость, можно сделать следующие выводы:

- супеси и суглинки залегают преимущественно в поверхностных горизонтах — до 4.5 м, что типично для отложений делювиального и пролювиального происхождения;
- глины наблюдаются в широком интервале глубин — от 2 до 15 м, что говорит об их более глубинном залегании и значительной мощности слоя;
- в пределах интервала глубин от 2 до 4 м встречаются все три типа грунтов, что указывает на резкую фациальную изменчивость отложений и неустойчивость литологического строения, характерную для четвертичных образований.

Несмотря на общее увеличение глубины при переходе к более пластичным грунтам, четкой линейной зависимости между глубиной и числом пластичности не наблюдается. Это подтверждает сложную стратиграфию и линзовидное залегание четвертичных отложений исследуемой территории.

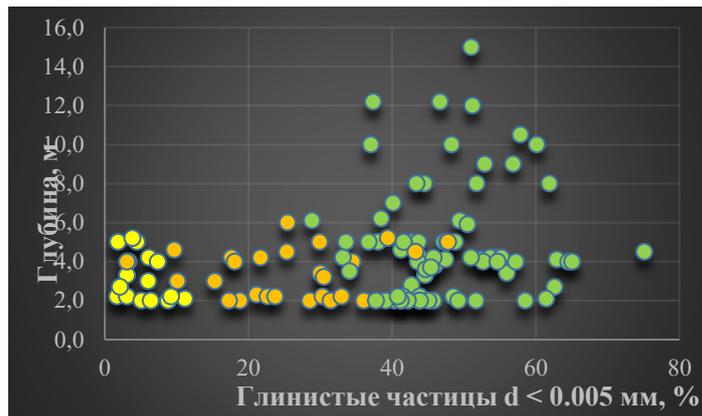
На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости содержания глинистых частиц в зависимости от глубины. Анализируя диаграмму, можно сделать вывод о вертикальной изменчивости грунтов:

- на глубине до 4–5 м встречаются как малоглинистые (5–20 %), так и среднеглинистые грунты;
- на глубине от 6 до 14 м доминируют глины с содержанием глинистых частиц 40–70 %.

Это говорит о неоднородности разреза по вертикали, типичной для осадочных отложений, сформированных в различных условиях осадконакопления. Также наблюдается латеральная изменчивость: в разных точках бурения скважин на одной

глубине одновременно залегают грунты разного типа (супеси, суглинки и глины) и текстуры (содержание глинистых частиц изменяется от 10 до 50 %). Такое распределение показывает неравномерность осадконакопления по площади, т.е. латеральную фаціальную пестроту.

На рис. 3 представлена диаграмма зависимости между числом пластичности и содержанием глинистых частиц. Анализ показывает наличие положительной корреляции между этими параметрами ($R^2 = 0.5226$), что подтверждает взаимосвязь между пластичными свойствами грунта и содержанием глинистых частиц

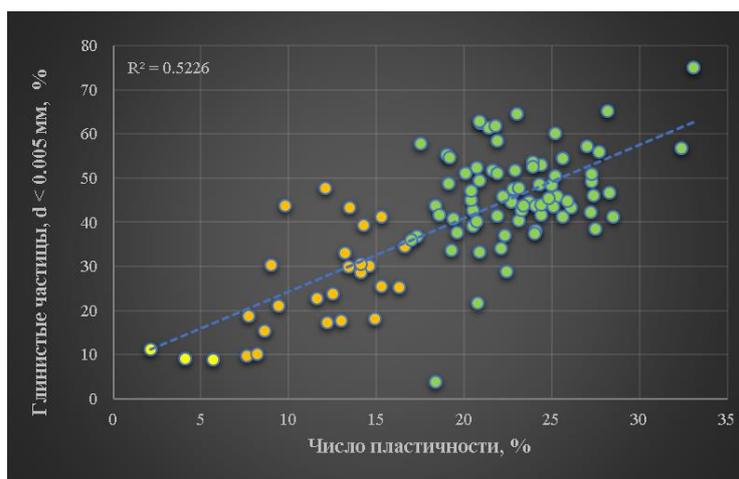


Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 2. Содержание глинистых частиц в зависимости от глубины

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

Из приведенной диаграммы видно, что супеси группируются в левом нижнем углу диаграммы: низкое число пластичности (3–10 %) и содержание глинистых частиц менее 20%; суглинки располагаются в средней зоне по обоим параметрам; глины доминируют при содержании глинистых частиц более 35 % и числе пластичности более 18–20 %. Исходя из этого можно сделать вывод, что с увеличением доли глинистых фракций наблюдается рост числа пластичности, особенно отчётливо выраженный в суглинках и глинах.



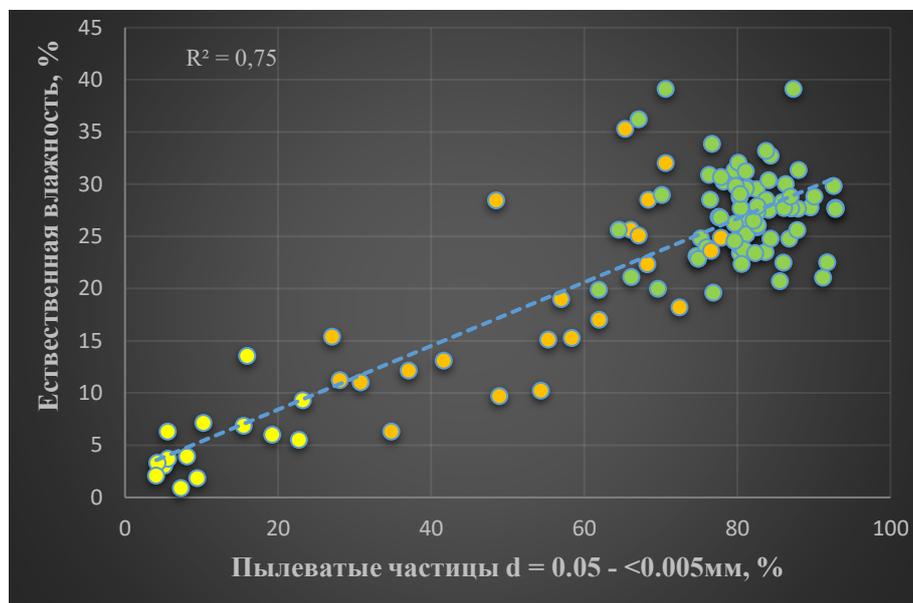
Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 3. Связь между числом пластичности и глинистыми частицами

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

На рис. 4 представлена зависимость естественной влажности от содержания пылеватых частиц. Диаграмма демонстрирует чёткую положительную корреляцию между параметрами ($R^2 = 0.75$). На графике видно, что глины с естественной влажностью от 20 до 40 % обладают высоким содержанием мелкодисперсной фракции (60–90 %). Высокая влажность объясняется большой удельной поверхностью и капиллярной активностью пылевато-глинистых частиц. Супеси и суглинки обладают более низким содержанием пылеватых частиц (до 40 %) и, соответственно, меньшим значением естественной влажности (до 15 %), что соответствует их более дренированному и менее водоудерживающему характеру.

Анализируя данную зависимость, можно сделать вывод, что увеличение доли пылевой фракций сопровождается ростом влажности, особенно выраженное в глинистых и пылеватых грунтах. Это обуславливается увеличением дисперсности грунтов, которое приводит к увеличению количества связей за счет межмолекулярного взаимодействия между частицами глинистых минералов, которые стремятся сохранить структуру грунта в состоянии равновесия.

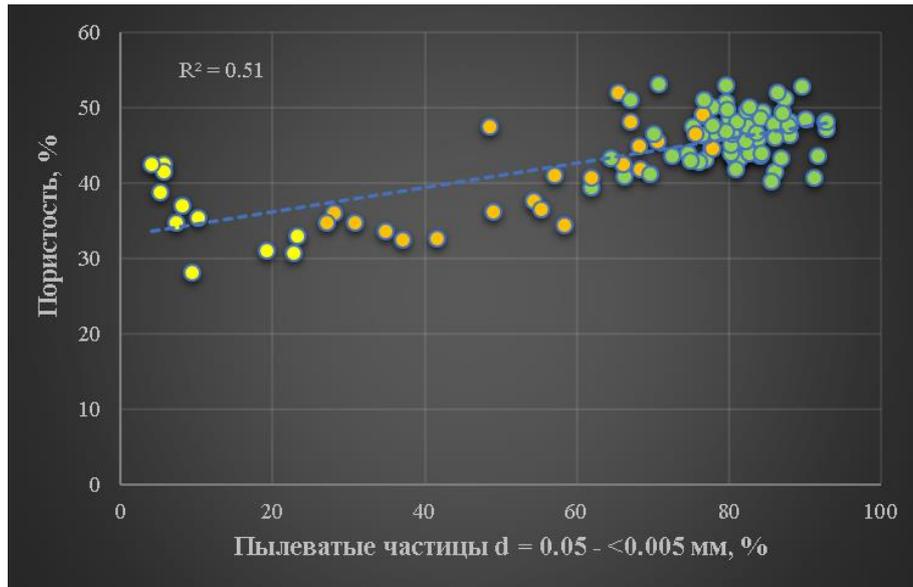


Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 4. Связь между влажностью и содержанием пылеватых частиц

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

На рис. 5 приведена зависимость между пористостью и содержанием пылеватых частиц. Диаграмма демонстрирует умеренную положительную корреляцию между параметрами ($R^2 = 0.51$), что указывает на тенденцию увеличения пористости с ростом доли мелкодисперсной фракции. Супеси имеют низкое содержание пылеватых частиц (<40 %) и высокую вариабельность пористости (от 30 до 45 %), вероятно обусловленную структурой и влиянием крупной фракции. Суглинки и глины в большинстве случаев содержат более 60 % пылеватых частиц и демонстрируют повышенную пористость (до 50–55 %). Это объясняется тем, что увеличение доли мелких частиц приводит к увеличению общей удельной поверхности, которая способствует удержанию влаги и образованию микропор.



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 5. Связь между пористостью и содержанием пылеватых частиц

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе инженерно-геологических изысканий на объекте исследований города Темиртау было пробурено 144 скважины глубиной до 15 м, отобрано 115 проб грунта, выполнены лабораторные исследования, а также произведены замеры уровня грунтовых вод. Полученные результаты легли в основу оценки физических характеристик четвертичных отложений и выявления закономерностей с их гранулометрическим составом.

На основе данных лабораторных исследований были построены корреляционные зависимости, позволившие выделить устойчивые связи между рядом параметров. Так, выявлена высокая степень корреляции между влажностью и содержанием частиц размером менее 0.05 мм ($R^2 = 0.75$), а также между числом пластичности и содержанием глинистой фракции ($R^2 = 0.73$). Эти результаты подтверждают значительное влияние тонкодисперсной фракции на водоудерживающие свойства и консистенцию грунтов.

Анализ распределения типов грунтов по глубине (рисунок 1) показал, что глины залегают на различных глубинах и сопровождаются чередованием супесей и суглинков, что указывает на фациальную изменчивость отложений. Выявлены признаки сложной стратиграфии и неоднородного осадконакопления, характерного для четвертичных отложений делювиального происхождения.

Диаграмма зависимости содержания глинистых частиц от глубины (рис. 2) демонстрирует как вертикальную, так и латеральную изменчивость гранулометрического состава. Это указывает на неравномерные условия осадконакопления и структурную неоднородность геологического разреза. Связь между пористостью и содержанием частиц менее 0,05 мм ($R^2 = 0.71$) подтверждает влияние тонкодисперсной фракции на структурные характеристики грунта.

Следует отметить возможные ограничения: выборка охватывает лишь до 15 м глубины и ограничена территорией участка строительства. При экстраполяции результатов на иные регионы или более глубокие горизонты требуется дополнительная верификация.

Тем не менее, данные исследования обладают высокой прикладной значимостью. Они могут служить базой для дальнейших исследований, направленных на уточнение моделей осадконакопления и прогноза инженерно-геологических условий в городской среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Тип грунта коррелирует с гранулометрическим составом и глубиной залегания. Супеси и суглинки преимущественно приурочены к верхним горизонтам разреза (до 4.5 м), в то время как глины залегают на большей глубине, формируя более мощные толщи. Наблюдается высокая фациальная изменчивость, как по вертикали, так и по площади, что указывает на сложную историю осадконакопления и линзовидное залегание слоёв.

2) Существует устойчивая положительная корреляция между числом пластичности и содержанием глинистых частиц ($R^2 = 0.52$), что подтверждает физическую зависимость между минеральным составом и пластичными свойствами грунтов.

3) Естественная влажность тесно связана с содержанием пылеватой фракций (0.05–<0.005 мм) – коэффициент детерминации достигает $R^2 = 0.75$, что указывает на высокую степень влияния гранулометрического состава на гидрофизические свойства грунтов. Мелкодисперсные частицы обладают высокой удельной поверхностью и капиллярной активностью, способствуя накоплению влаги.

4) Пористость также демонстрирует тенденцию увеличения с ростом содержания пылеватых частиц, хотя зависимость менее выражена ($R^2 = 0.51$). Это объясняется формированием в мелкодисперсных грунтах микропористой структуры, способной удерживать как влагу, так и воздух в порах.

Научная новизна проведённого исследования заключается в систематизации данных по гранулометрическому составу и физическим характеристикам грунтов на территории города Темиртау, а также в установлении количественных связей между этими параметрами. Полученные зависимости могут быть использованы для предварительной оценки инженерно-геологических свойств грунтов при отсутствии лабораторных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Azema E., Estrada N., Radjai F. (2012). Nonlinear effects of particle shape angularity in sheared granular media. *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 86, 041301. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.041301>
- Alekseev A., Malyshev V. (2025). Mineralogy and geochemistry of granulometric fractions as a tool for studying transformations of the solid phase of soils. *Lomonosov Soil Science Journal*, 80(1), 61–70. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-1-61-70>
- Arif H., Mehedi H., Islam R., Alim A. (2019). Prediction of Compaction Parameters of Soil using Support Vector Regression // *Cur Trends Civil and Struct Engineering*. №1. P.1-7. (in English).
- Bolliger D., Schlunegger F., McArdell B.W. (2024). Comparison of debris flow observations, including fine-sediment grain size and composition and runout model results, at Illgraben, Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24, 1035–1049. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-1035-2024> NHES
- Cai Y., Yu J. (2016). Engineering geological environment comprehensive evaluation with intuitionistic fuzzy information // *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. №5. P. 2705-2711. (in English).

- Dembovetsky A., Tyugai Z., Shein E. (2024). Granulometric composition of soils: history, development of methods, current state and prospects. *Lomonosov Soil Science Journal*, 79(4), 7–13. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-4-7-13>
- Dill H.G. (2022). Trends and Composition—A Sedimentological-Chemical-Mineralogical Approach to Constrain the Origin of Quaternary Deposits and Landforms—From a Review to a Manual. *Geosciences*, 12(1):24. <https://doi.org/10.3390/geosciences12010024> Frontiers+4MDPI+4Frontiers+4
- Goczevska-Langer W., Gumula-Kawecka A., Jaworska-Szulc B., Angulo-Jaramillo R., Szymkiewicz A. (2023). Permeability of sandy soils estimated from particle size distribution. *Hydrogeology Journal*, 31(4), 1123–1138. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02536-w>
- Gorańczko A., Topoliński S. (2020). Particle Size Distribution of Natural Clayey Soils. *Geosciences*, 10(2), 55. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020055>
- Jyothirmayi K.H., Gnanananda T., Suresh K. (2015). Prediction of compaction characteristics of soil using plastic limit. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4, 253–256.
- Li A., Wang P., Guo X., Ji X., Shen K., Lin L., Yan Z., Yuan L. (2024). Correlation Study on Grain Size Characteristics and Geotechnical Properties of Surface Sediments in Qingdao Offshore Area. *Journal of Ocean University of China*, 23, 721–730. <https://doi.org/10.1007/s11802-024-5421-7>
- Luna E., Araujo M., Varona-Gonzalez H. (2024). Sediment granulometric parameters of Brazilian Barreta beach. *Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales*, 12, 56–64.
- Nguyen C.H., Pham B.T., Truong N.V. (2022). Particle size distribution and its influence on compressibility and permeability of clayey soils. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(10). <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02801-4>
- Tamasa S., Arjwech R., Eua-Apiwatch S., Nulay P. (2024). Characterizing Quaternary Terrace Sediments in Gravel Pits using lithology, ERT and IP. *Geoheritage*, 16. <https://doi.org/10.1007/s12371-024-01022-z> sciengine.com+6ouci.dntb.gov.ua+6researchgate.net+6
- Ueda, T., Matsushima, T. and Yamada, Y. (2011). Effect of particle size ratio and volume fraction on shear strength of binary granular mixture. *Granular Matter* 13: 731-742.
- Veress M. (2021). Development Environments and Factors of Subsidence Dolines. *Geosciences*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/geosciences11030513>
- Wang Y., Li K., Li J., Tang S. (2021). Influence of Soil Particle Size on the Engineering Properties and Microstructure of a Red Clay. *Applied Sciences*, 11(22), 10887. <https://doi.org/10.3390/app112210887>.
- Wang, J.J., Zhang, H., Tang, S. and Liang, Y. (2013). Effects of particle size distribution on shear strength of accumulation soil // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. № 11. P.1994–1997. (in English).
- Xia F., Liu D., Zhang Y. (2024). Characteristics and Environmental Indications of Grain Size and Magnetic Susceptibility of the Late Quaternary Sediments from the Xiyang Tidal Channel, Western South Yellow Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(5):699. <https://doi.org/10.3390/jmse12050699> MDPI
- Zhang Y., Liu M., Wang J. (2024). Effects of clay grains on the shear properties of unsaturated loess. *Scientific Reports*, 14, 14591. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73413-9>

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Вдовкина Дарья Игоревна – магистр, АҚ «QARMET», Сарань қ., Қазақстан

Вдовкина Дарья Игоревна – магистр, АО «QARMET», г. Сарань, Казахстан

Vdovkina Darya Igorevna – Master, JSC «QARMET», Saran, Kazakhstan,

e-mail: daryavdovkina@gmail.com,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7931-9708>



Пономарева Марина Викторовна – техника ғылымдарының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Пономарева Марина Викторовна – кандидат технических наук, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Ponomareva Marina Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: mv_ponomareva18@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8652-9607>



Пономарева Екатерина Вадимовна – PhD дәрежесі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Пономарева Екатерина Вадимовна – доктор PhD, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Ponomareva Ekaterina Vadimovna – Doctor PhD, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: evmussina1992@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1322-6773>