

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

ENGINEERING SURVEY

Vol. XV • Том XV 3-4/2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве» —
Общероссийское отраслевое
объединение работодателей



АНКЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ
MALININ GROUP



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Яббарова Е.Н., Латыпов А.И., Дивеев А.А.

Опыт исследования грунтов с использованием метода статического зондирования на объектах г. Казани8

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Брынь М.Я., Баширова Д.Р.

Методика определения нормальных высот пунктов по результатам спутниковых измерений для строительства и реконструкции автомобильных дорог20

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шепелев А.А., Жилин Ф.Е., Демонов А.П.

Эффективность выполнения гидромагнитных градиентометрических исследований с использованием магнитовариационной станции при инженерно-геологических изысканиях на континентальном арктическом шельфе32

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Миронюк С.Г., Ковачев С.А., Горбачев С.В.

Нормативные требования к оценке исходной сейсмичности на шельфе Печорского моря и опыт ее уточнения детерминистским методом42

Трифонов Б.А., Севостьянов В.В., Несынов В.В.

Оценка изменения сейсмических условий на урбанизированных территориях с использованием расчетных методов при решении задач сейсмического мониторинга54

Кауркин М.Д., Романов В.В., Андреев Д.О.

Особенности проведения расчета сейсмической интенсивности на участках распространения скальных грунтов70

Отраслевые новости80

Перечень научных специальностей с указанием соответствующих им отраслей науки, которым соответствует основное содержание рецензируемого научного издания:

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);	25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (географические науки);
05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки);	25.00.28 – Океанология (географические науки);
25.00.03 – Геотектоника и геодинамика (геолого-минералогические науки);	25.00.28 – Океанология (геолого-минералогические науки);
25.00.07 – Гидрогеология (геолого-минералогические науки);	25.00.28 – Океанология (физико-математические науки);
25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (географические науки);	25.00.31 – Гляциология и криология Земли (географические науки);
25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки);	25.00.31 – Гляциология и криология Земли (геолого-минералогические науки);
25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (технические науки);	25.00.32 – Геодезия (технические науки);
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых (геолого-минералогические науки);	25.00.33 – Картография (географические науки);
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых (физико-математические науки);	25.00.33 – Картография (технические науки);
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых (технические науки);	25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия (технические науки);
25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки);	25.00.35 – Геоинформатика (географические науки);
25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (геолого-минералогические науки);	25.00.35 – Геоинформатика (геолого-минералогические науки);
	25.00.35 – Геоинформатика (технические науки);
	25.00.36 – Геоэкология (по отраслям) (географические науки);
	25.00.36 – Геоэкология (по отраслям) (геолого-минералогические науки).

ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Yabbarova E.N., Latypov A.I., Diveev A.A.

Experience of soils' study using cone penetration test method at the objects in Kazan8

ENGINEERING-GEODESIC SURVEYS

Bryn M.J., Bashirova D.R.

Methodology for determining the normal heights of points based on the results of satellite measurements
for the construction and reconstruction of highways20

GEOPHYSICAL STUDIES

Shepelev A.A., Zhilin F.E., Demonov A.P.

Effectiveness of hydromagnetic gradiometric studies using a geomagnetic-variation station during
engineering-geological surveys on the continental Arctic shelf32

ENGINEERING SEISMOLOGY

Mironyuk S.G., Kovachev S.A., Gorbachev S.V.

Regulatory requirements for the assessment of initial seismicity on the Pechora Sea shelf and the experience
of its refinement by the deterministic method42

Trifonov B.A., Sevostyanov V.V., Nesynov V.V.

Assessment of seismic condition change in urbanized areas using calculation methods for seismic monitoring54

Kaurkin M.D., Romanov V.V., Andreev D.O.

Features of seismic intensity calculation in the areas of rock soils' distribution70

Industry News80





Проведение статического зондирования на одной из строительных площадок г. Казани. Фото Е.Н. Яббаровой

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ г. КАЗАНИ

ЯББАРОВА Е.Н.*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
Россия, yabbarova.en@mail.ru
Адрес: ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия

ЛАТЫПОВ А.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,
Россия, airatlat@mail.ru

ДИВЕЕВ А.А.

ООО «НПП «Геотек»», г. Пенза, Россия, aleksey-diveev@yandex.ru
Адрес: ул. Центральная, стр. 1М, г. Пенза, 440004, Россия
Пензенский государственный университет архитектуры и
строительства, г. Пенза, Россия
Адрес: ул. Германа Титова, д. 28, г. Пенза, 440028, Россия

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 19.07.2021 / Принята к публикации 24.08.2021 / Дата публикации 30.08.2021

© ООО «Геомаркетинг», 2021

Аннотация: в условиях высоких темпов возведения строительных объектов и освоения территорий часто требуется оперативное и быстрое принятие проектных решений, в т.ч. в области фундаментостроения. В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике инженерно-геологических исследований активно используется метод статического зондирования в связи с низкой стоимостью, быстротой и простотой проведения испытаний. Однако эффективность этого метода при оценке инженерно-геологических условий ограничена тем, что существующие нормативные технические документы составлены на основании исходных данных, полученных для всей территории Российской Федерации. Поэтому более актуальным становится вопрос проведения исследований, направленных на интерпретацию получаемых данных с точки зрения применимости к конкретным территориям и типам грунтовых толщ для региональной оценки инженерно-геологических условий. В статье рассматриваются результаты обработки материалов, полученных для территории г. Казани. Представлены результаты анализа диаграмм рассеяния по параметрам статического зондирования на восьми строительных площадках: по удельному сопротивлению грунта под конусом зонда q_c и фрикционному отношению R_f . Объекты исследования подбирались так, чтобы охватить как можно больше геоморфологических уровней долины р. Волги. На основе статистической обработки данных определены диапазоны значений q_c и R_f для инженерно-геологических условий разновозрастных надпойменных террас р. Волги и ее притоков. В результате на примере грунтовых толщ г. Казани подтверждена возможность предварительной оценки инженерно-геологических условий территорий с использованием данных статического зондирования, а именно — выделение грунтов по числу пластичности и показателю консистенции для связных разностей и по гранулометрическому составу для несвязных.

Ключевые слова: статическое зондирование; удельное сопротивление грунта под конусом зонда; фрикционное отношение; исследование грунтов; анализ данных; дочетвертичные грунты; неоген-четвертичные грунты; г. Казань

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-35-90089.

Ссылка для цитирования: Яббарова Е.Н., Латыпов А.И., Дивеев А.А., 2021. Опыт исследования грунтов с использованием метода статического зондирования на объектах г. Казани. Инженерные изыскания, Том XV, № 3–4, с. 8–17, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-3-4-8-17>.

EXPERIENCE OF SOILS' STUDY USING CONE PENETRATION TEST METHOD AT THE OBJECTS IN KAZAN

EKATERINA N. YABBAROVA*

Kazan Federal University; Kazan, Russia; yabbarova.en@mail.ru
Address: Bld. 18, Kremlevskaya St., 420008, Kazan, Russia

AIRAT I. LATYPOV

Kazan Federal University; Kazan, Russia; airatlat@mail.ru

ALEKSEY A. DIVEEV

Scientific Production Enterprise Geotek LLC; Penza, Russia; aleksey-diveev@yandex.ru

Address: Pde 1M, Centralnaya St., 440004, Penza, Russia
Penza State University of Architecture and Construction; Penza, Russia
Address: Bld. 28, German Titov St., 440028, Penza, Russia

Original paper

Received 19 July 2021 / Accepted 24 August 2021 / Published 30 August 2021

© Geomarketing LLC, 2021

Abstract: high rates of construction and development of territories require rapid adoption of design decisions, including in the field of foundation building. Currently, the cone penetration test method is actively used both in domestic and foreign practice of engineering-geological research, due to low cost, high speed, and simplicity of testing. However, the effectiveness of the method in assessing engineering-geological conditions is limited by the fact that the existing regulatory technical documents are compiled on the basis of initial data obtained for the entire territory of the Russian Federation. Therefore, it becomes increasingly relevant to conduct research aimed at interpreting the data obtained from the point of view of applicability to specific territories and types of soil strata for regional assessment of engineering-geological conditions. The paper discusses the results of processing the data obtained for the territory of Kazan. It is presented the results of the analysis of scatter diagrams for cone penetration test parameters at eight construction sites: by the specific cone resistance q_c and the friction ratio R_f . The objects of the study were selected in such a way as to cover as many geomorphological levels of the Volga River valley. On the basis of statistical processing of cone penetration test data, the ranges of values of q_c and R_f for engineering-geological conditions of different age above-floodplain terraces of the Volga River and its tributaries were determined. As a result, the possibility of preliminary assessment of engineering-geological conditions of territories using cone penetration test data, namely, the allocation of soil varieties by plasticity and consistency indices for cohesive soil and by granulometric composition for non-cohesive soil, was confirmed on the example of the soil strata of Kazan.

Key words: cone penetration test; specific cone resistance; friction ratio; soil study; data analysis; pre-Quaternary soils; Neogene and Quaternary soils; Kazan

Acknowledgments: the study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-35-90089.

For citation: Yabbarova E.N., Latypov A.I., Diveev A.A., 2021. Experience of soils' study using cone penetration test method at the objects in Kazan. Engineering Survey, Vol. XV, No. 3–4, pp. 8–17, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-3-4-8-17>.

Актуальность

Метод статического зондирования грунтов широко применяется как в зарубежной, так и в отечественной практике инженерно-геологических изысканий в связи с низкой стоимостью, быстротой и простотой проведения испытаний. Кроме того, часто это единственный метод, с помощью которого в полевых условиях возможно исследование специфических грунтов, отбор проб которых бывает затруднен.

Методика проведения статического зондирования описана в ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». Основными измеряемыми параметрами для зонда II типа являются: удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда q_c и удельное сопротивление грунта на

участке боковой поверхности (муфте трения) зонда f_s .

В практике проектирования результаты статического зондирования используются для выделения или уточнения границ инженерно-геологических элементов (ИГЭ), определения физико-механических характеристик грунта, оценки несущей способности свай.

Вместе с тем в условиях высоких темпов возведения строительных объектов и освоения территорий часто требуется оперативное принятие проектных решений еще до проведения инженерных изысканий в полном объеме. В этой связи для предварительной оценки инженерно-геологических условий представляется перспективным подход, основанный на исследовании глинистых и песчаных грунтов согласно параметрам зондирования.

Впервые в изыскательской практике применение параметров статического зондирования для идентификации грунтов было предложено Х.К.С. Бегманном в 1965 г. [15]. На данный момент исследование песчаных и глинистых грунтов, согласно международным рекомендациям, подразумевает определение индекса трения $I_f = q_c/f_s$ и фрикционного отношения $R_f = f_s/q_c$ [18, 20]. В конце 1980-х гг. были составлены первые классификационные диаграммы с использованием удельного сопротивления грунта под конусом зонда q_c , МПа и фрикционного отношения R_f , % [10, 16, 17, 19]. Данные диаграммы разрабатывались на основе корреляции между параметрами зондирования и типом грунта, определенным в лабораторных условиях по физическим характеристикам.

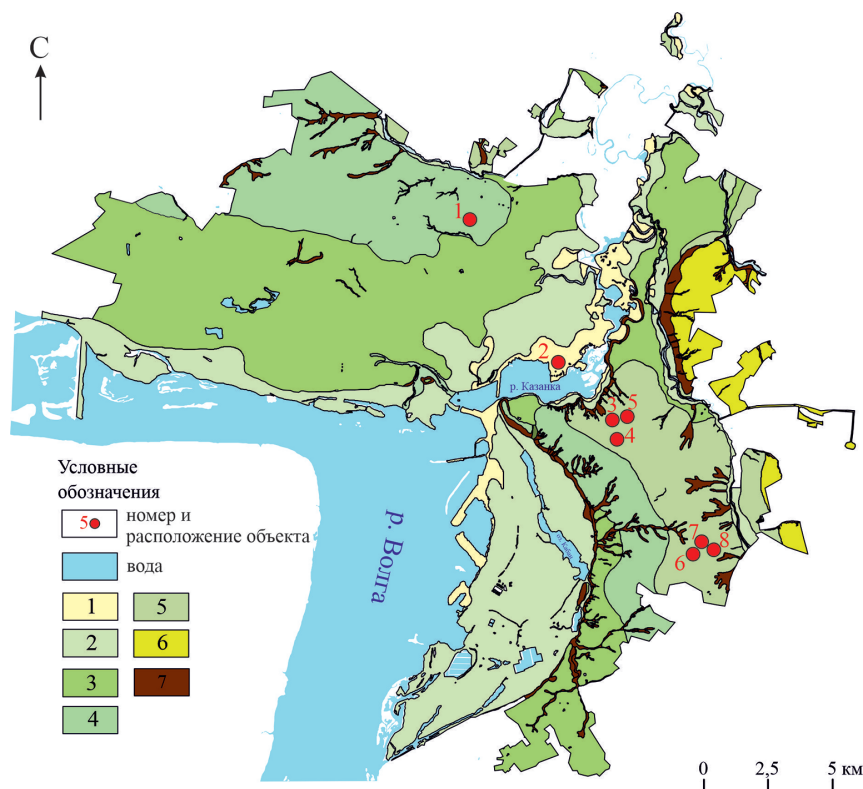


Рис. 1. Карта расположения строительных площадок г. Казани. Обозначения: надпойменные террасы: 1 — ошашковская (f^1Q_{III-IV}), 2 — микулинско-калининская (f^2Q_{III}), 3 — одиновско-московская (df^3Q_{II}), 4 — лихвинско-днепровская (df^4Q_{II}), 5 — окская (df^5Q_{E-I}) (аллювиальные отложения); 6 — эоплейстоценовая (df^6Q_E) (элювиально-делювиальные отложения); 7 — элювиально-делювиальные отложения (балочные). Подложка: геоморфологическая карта г. Казани, составленная И.А. Серебrenниковой и Н.И. Жарковой (2007) по государственному контракту № 1.3.3./06/07 «Создание постоянно действующей модели геологической среды для организации системы геодинамического и гидрогеологического мониторинга на территории г. Казани»

Fig. 1. Location map of construction sites in Kazan. Designations: above-floodplain terraces: 1 — Ostashkovskaya (f^1Q_{III-IV}), 2 — Mikulinsko-Kalininskaya (f^2Q_{III}), 3 — Odintsovsko-Moskovskaya (df^3Q_{II}), 4 — Likhvinsko-Dneprovskaya (df^4Q_{II}), 5 — Okskaya (df^5Q_{E-I}) (alluvial deposits); 6 — Eopleistocene (df^6Q_E) (eluvial-deluvial deposits); 7 — eluvial-deluvial deposits (ravine). Background: geomorphological map of Kazan developed by I.A. Serebrennikova and N.I. Zharkova (2007) as a part of state contract No. 1.3.3./06/07 "Development of a permanent model of the geological environment for the organization of a system of geodynamic and hydrogeological monitoring on the territory of Kazan"

В зарубежной практике для целей классификации грунтов по данным статического зондирования наиболее широко используется диаграмма П.К. Робертсона (1990) [20]. В качестве классификационного показателя применяют индекс материала I_c , который является радиусом окружности с центром в верхней левой части диаграммы:

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \lg Q_t)^2 + (\lg F_r + 1,22)^2}, \quad (1)$$

где $Q_t = (q_t - \sigma_{v0})/\sigma'_{v0}$ и $F_r = f_s/(q_t - \sigma_{v0}) \cdot 100\%$; σ_{v0} и σ'_{v0} — полное и эффективное бытовое давление соответственно; Q_t — удельное сопротивление грунта внедрению конуса, нормализованное бытовым давлением; q_t — нор-

мализованное удельное сопротивление грунта под конусом зонда; F_r — коэффициент трения.

Отечественными учеными, например, Р.С. Зянгириным и В.И. Каширским в качестве классификационного показателя для идентификации гравийно-галечниковых, песчаных и супесчаных грунтов московского региона введено использование сопротивления грунта погружению конуса q_c и фрикционного отношения R_f , определяемого по формуле [5, 6]:

$$R_f = (f_s/q_c) \cdot 100\%. \quad (2)$$

Согласно этой классификации гравийно-галечниковым грунтам соответствуют значения сопротивления под ко-

нусом q_c от 18 до 35 МПа при R_f от 0,5 до 1,2%. Диапазон q_c для песчаных грунтов варьирует от 2 до 25 МПа при $R_f = 0,5-3,0\%$. Супесчаные грунты характеризуются значениями q_c от 1 до 3 при R_f от 1,2 до 3,0%.

А.В. Норшан и И.Б. Рыжков для грунтов, распространенных на территории Республики Башкортостан, приводит следующие критерии идентификации их вида [9]. Так, для суглинков $1 \leq q_c \leq 4$ при $R_f = 2,0-10,0\%$. Для глин q_c аналогичен суглинкам при $R_f > 2,5\%$. Песчаным грунтам соответствуют большие значения $q_c = 1,5-12,0$ МПа при $R_f < 2,0\%$.

В.П. Беляев проводит идентификацию грунтов на территории г. Самары и Самарской области по данным фрикционного отношения с учетом генезиса и возраста грунтов, разделяя их на связные и несвязные [1, 2]. Так, для песков R_f колеблется в пределах 0,5–2,3%, для связных грунтов — от 2,0 до 10,0%.

Таким образом, анализ ранее выполненных работ в разных инженерно-геологических условиях показывает, что существует общая тенденция изменения параметров статического зондирования: для несвязных разностей обычно характерны высокие значения удельного сопротивления грунта под конусом q_c при малых значениях фрикционного отношения R_f ; связные грунты, напротив, обладают высокими значениями R_f при низких q_c . При этом каждый регион характеризуется определенными диапазонами величин параметров зондирования для исследования грунтов. Поэтому главной целью данной работы является уточнение этих диапазонов для грунтовых условий г. Казани.

Объект и методика исследования

В работах Б.И. Рыжкова, О.Н. Исаева (2010) и Г.Г. Болдырева (2017) приведено детальное описание известных методов классификации грунтов с использованием параметров статического зондирования [3, 10]. Позже в статье Г.Г. Болдырева и И.Х. Идрисова (2019) была показана возможность сопоставления данных по статическому зондированию грунтов по классификации П.К. Робертсона (1990) и ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация»¹ для нескольких строительных площадок в г. Набережные Челны, а также скорректированы классификационные параметры для разновидностей грунтов [4]. Б.И. Рыжков с

¹ Действовал на момент написания статьи Г.Г. Болдырева и И.Х. Идрисова. В настоящее время действующим является ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация».

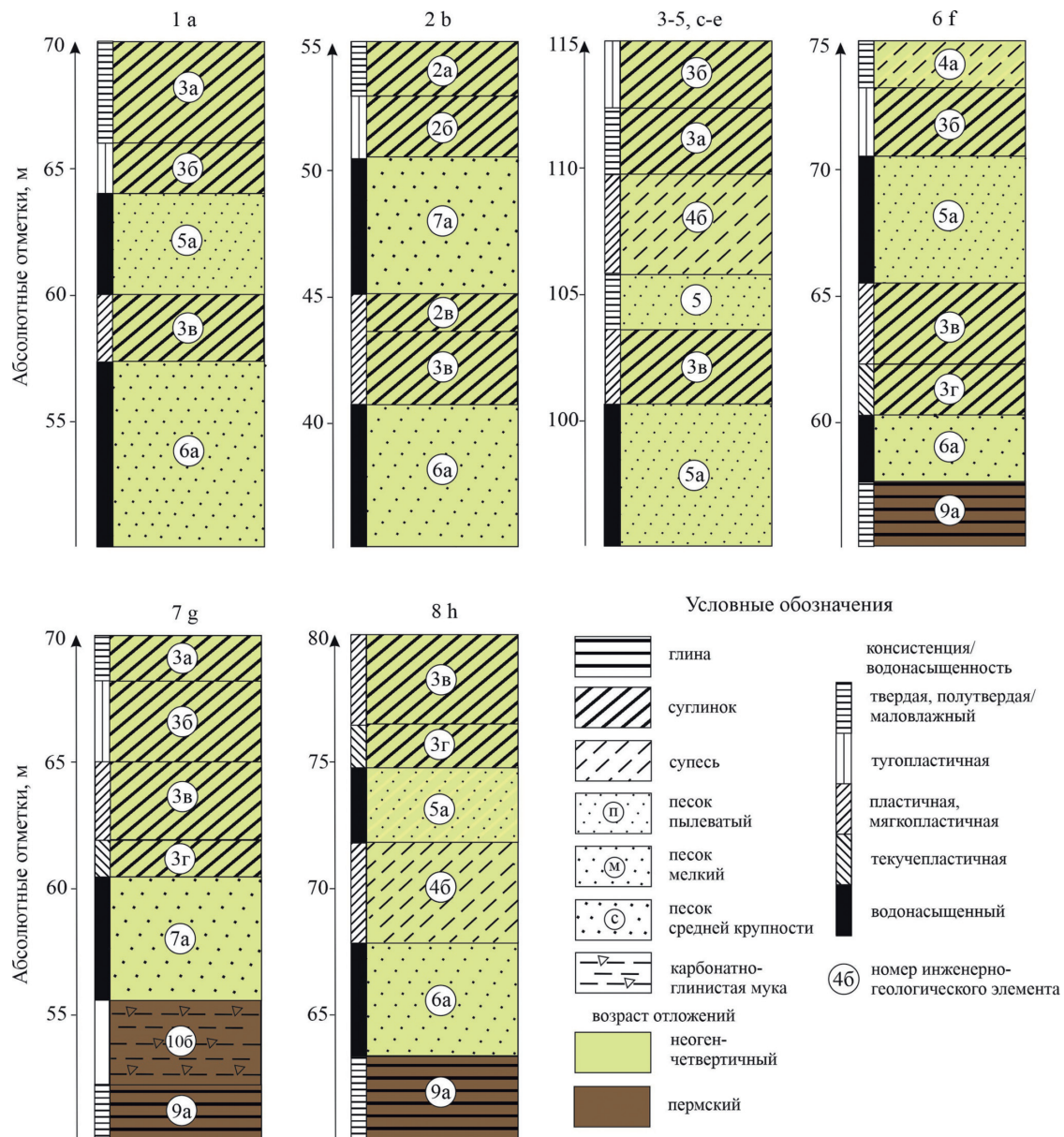


Рис. 2. Литологические колонки скважин для объектов 1–8 в соответствии с рис. 1

Fig. 2. Lithological columns of wells for objects 1–8 according to fig. 1

соавторами (2020) предлагают альтернативу зарубежных классификаций для идентификации грунтов с учетом их привязки к геологическим условиям России [11].

В период 2018–2021 гг. авторами была выполнена работа по сбору, систематизации и анализу данных статического зондирования грунтовых массивов и инженерно-геологических исследований грунтов на территории г. Казани [7, 13–15]. Одним из этапов исследований стало выделение идентификационных разновидностей грунтов по данным статического зондирования в полевых условиях. На рис. 1 показано расположение восьми строительных площадок г. Казани, приуроченных к разным геоморфологическим уровням.

Статическое зондирование на территории исследования проводилось с использованием зонда II типа установками С-832, УЗК-15 и СП-89 без применения датчика порового давления.

В геологическом строении территории исследования принимает участие разновозрастный комплекс отложений — от пермских до неоген-четвертичных (рис. 2). Пермские образования представлены доломитами, известняками, глинами, песчаниками, алевролитами. Плиоценовые отложения развиты практически на всем левобережье р. Волги и слагают песчано-глинистую толщу мощностью от 2 до 150 м. Четвертичные накопления образуют почти сплошной покров различной мощности, формирование которого происходило

при взаимодействии новейших тектонических движений [8, 12].

В геоморфологическом отношении объект исследований № 1 расположен в пределах IV аллювиальной средненеоплейстоценовой террасы (df_4Q_{II}) рек Волги и Казанки. В состав исследуемой грунтовой толщи входит пять ИГЭ. Изучено шесть точек статического зондирования. Глубина исследования составила 10,3–27,4 м.

Территория исследований № 2 приурочена к I надпойменной аллювиальной верхненеоплейстоцен-голоценовой террасе (f_1Q_{III-IV}) правобережья р. Казанки. В состав исследуемой грунтовой толщи входит семь ИГЭ. Изучено 56 точек статического зондирования глубиной 22,1–27,0 м.

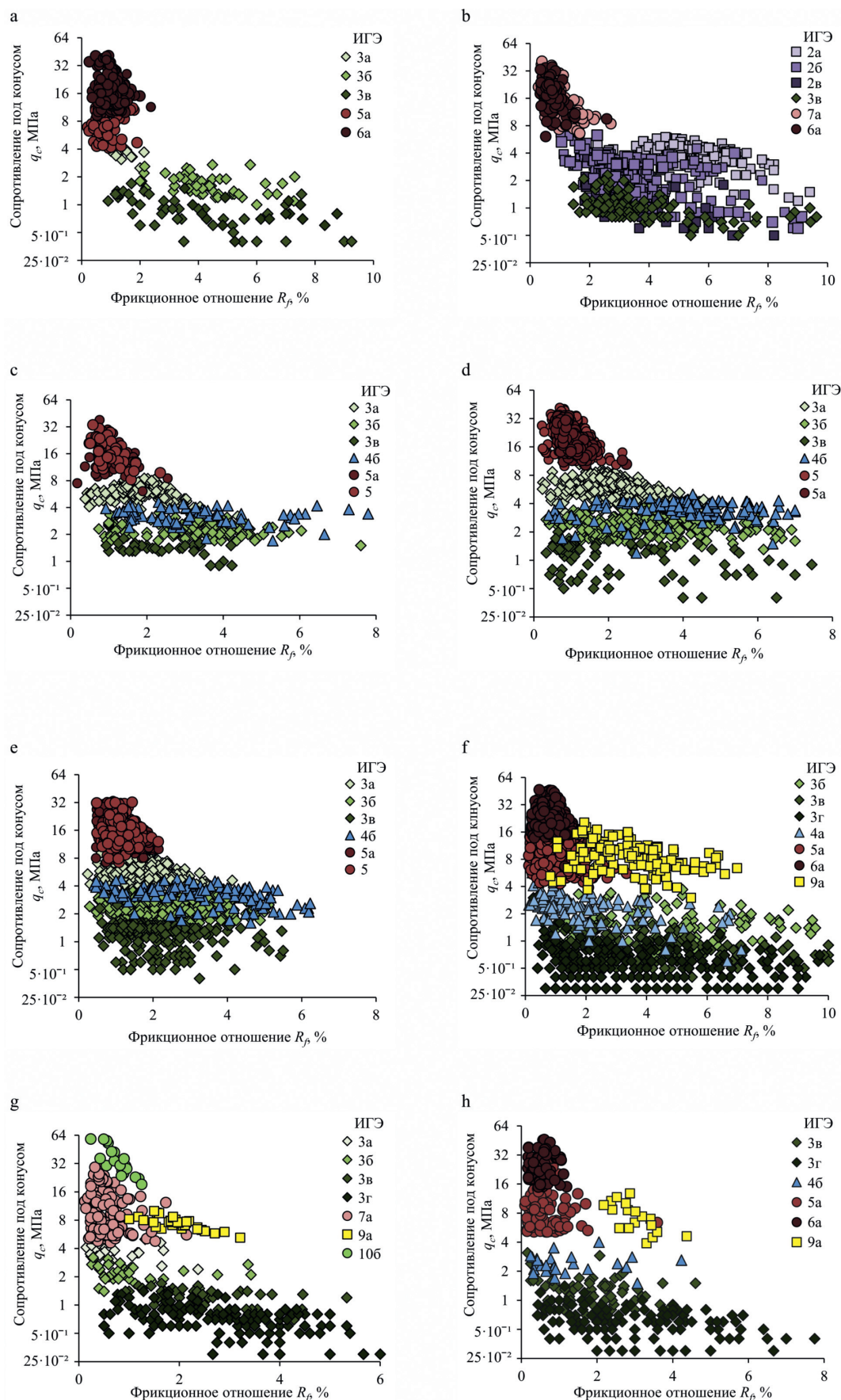


Рис. 3. Диаграммы рассеяния, построенные по данным об удельном сопротивлении грунта под конусом q_c (логарифмический масштаб оси) и фрикционном отношении R_f для грунтовых условий г. Казани по восьми объектам (в скобках указан номер объекта в соответствии с рис. 1): а — ул. Максимова (1), б — Дворец водных видов спорта (2), с — ул. Ершова (3), d — ул. Ахмерова (4), е — ул. Ахметзянова (5), f — ул. Аббасова (6), g — ул. Умырзая (7), h — ул. Коваля (8)

Fig. 3. Scatter diagrams based on data on the specific cone resistance q_c (logarithmic scale of the axis) and frictional ratio R_f for the soil conditions of Kazan for eight objects (object numbers are indicated in brackets in accordance with fig. 1): a — Maksimov St. (1), b — Water Sports Palace (2), c — Ershov St. (3), d — Akhmerov St. (4), e — Akhmetzyanov St. (5), f — Abbasov St. (6), g — Umyrza St. (7), h — Koval St. (8)

Площадки изысканий № 3–8 в геоморфологическом отношении расположены на аллювиальной эоплейстоценовой V левобережной террасе р. Волги и ее притоков (df²Q_{E-1}). Изучено 259 точек статического зондирования до глубины 25,3 м.

Данные статического зондирования и соответствующие им ИГЭ по восьми объектам г. Казани обрабатывались в программном комплексе MS Excel. Для удобства визуализации результаты обработки представлены в виде диаграмм рассеяния (рис. 3). В работе использовались наименования разновидностей грунтов, определенные по физическим характеристикам по стандартной классификации ГОСТ 25100-2020.

Результаты исследования и их обсуждение

Ул. Максимова (№ 1, см. рис. 3, а). На диаграмме четко выделяются водонасыщенные пески пылеватые (ИГЭ 5а) и мелкие (ИГЭ 6а). Причем несмотря на одинаковую среднюю плотность сложения, пылеватые пески имеют значительно меньшее значение удельного сопротивления грунта под конусом. Так, для мелких песков диапазон q_c составляет 9–41 МПа, а для пылеватых — 4–38 МПа. Значение фрикционного отношения R_f для обоих видов песков находится в пределах 0–1,1%.

Диапазон $q_c = 3–4$ МПа характерен только для полутвердых суглинков ИГЭ 3а. При этом фрикционное отношение R_f не превышает 2,1%. Возможно, это объясняется низкими числами пластичности суглинков ИГЭ 3а (среднее значение числа пластичности $I_p = 7,3$).

Тугопластичные суглинки ИГЭ 3б имеют максимальную густоту точек на диаграмме в районе значения удельного сопротивления под конусом $q_c = 1,6$ МПа и фрикционного отношения $R_f = 4,0\%$.

Выделение мягкопластичных суглинков ИГЭ 3в затруднительно вследствие большого разброса данных, но есть общий тренд, указывающий на то, что значения удельного сопротивления под конусом не превышают 1,5 МПа. Значения R_f находятся в диапазоне 1,0–7,5%.

Дворец водных видов спорта (№ 2, см. рис. 3, б). На объекте проанализировано 56 точек статического зондирования, поэтому на диаграмме наблюдается их высокая плотность.

Как и на предыдущем объекте, максимальные значения удельного сопротивления под конусом имеют водонасыщенные мелкие пески ИГЭ 6а

($q_c = 3,0–35,4$ МПа). Фрикционное отношение $R_f = 0–2\%$. Близкие значения имеют и водонасыщенные пески средней крупности ИГЭ 7а. В отличие от объекта по ул. Максимова некоторые зафиксированные значения q_c и R_f «выскакивают» в нехарактерные для песков диапазоны, что может свидетельствовать о повышенном содержании глинистых частиц в некоторых зонах песчаного разреза или наличии глинистых прослоев в песчаных толщах.

Среднее значение (выборочное) параметра q_c (1,4 МПа) для мягкопластичных суглинков ИГЭ 3в на территории Дворца водных видов спорта практически точно совпадает со значением, полученным на объекте ул. Максимова. Среднее значение (выборочное) фрикционного отношения R_f составляет 3,5% и очень четко «отсекается» на величине 5,0%.

Полутвердые и тугопластичные глины ИГЭ 2а и 2б имеют схожие диапазоны и трудноразличимы между собой для анализа, разве что значения удельного сопротивления под конусом для глины ИГЭ 2а чуть больше (доходят до 6 МПа). Ярким маркером для глины являются значения фрикционного отношения, в отдельных случаях достигающего до 15–17%. Однако подавляющее большинство зафиксированных значений имеет верхний порог $R_f = 10\%$.

Мягкопластичные глины ИГЭ 2в не анализировались вследствие малого числа определений.

Ул. Ершова (№ 3, см. рис. 3, в). В данном инженерно-геологическом разрезе выделяются маловлажные пылеватые пески ИГЭ 5, имеющие значения удельного сопротивления под конусом от 8 до 34 МПа. Аналогичный диапазон характеризует и водонасыщенные пылеватые пески ИГЭ 5а, что говорит об отсутствии влияния степени водонасыщения песков одной фракции на их прочностные параметры. Фрикционное отношение песков имеет диапазон 0–1,1%.

На объекте выделена довольно большая и представительная выборка точек, соответствующих полутвердым суглинкам ИГЭ 3а. Учитывая, что подобное наблюдается и на двух рядом расположенных объектах (ул. Ахмерова (№ 4, см. рис. 3, д) и ул. Ахметзянова (№ 5, см. рис. 3, е)), можно сделать вывод, что для полутвердых суглинков установлены границы по удельному сопротивлению под конусом 4–8 МПа при среднем (выборочном) значении фрикционного отношения $R_f = 2\%$. «Отсекающую» величину R_f можно принять равной 3%.

Среднее значение числа пластичности суглинков ИГЭ 3а $I_p = 8,4$, отсюда и столь низкое значение R_f .

На всех трех вышеперечисленных объектах выделяются пластичные супеси ИГЭ 4б. Если по удельному сопротивлению грунта под конусом возможно их выделение по результатам статического зондирования (значение q_c находится в диапазоне 3–4 МПа), то разброс значений фрикционного отношения слишком велик, чтобы говорить о какой-либо тенденции. В некоторых точках величина R_f близка к 0 (что характерно для несвязных грунтов), а в некоторых доходит до 7–8%. Это объясняется, по-видимому, тем, что супеси, являясь по сути промежуточными грунтами между песками и полутвердыми и тугопластичными суглинками, имеют широкий диапазон гранулометрического состава, который должен уточняться по лабораторным испытаниям. Кроме того, анализ данных по числу пластичности показал, что для супесей пластичных и суглинков твердых, полутвердых (см. рис. 3, с — е) характерны близкие значения числа пластичности, поэтому на диаграммах нарушена последовательность расположения грунтов в соответствии с общепринятым представлением.

Тугопластичные ИГЭ 3б и мягкопластичные ИГЭ 3в суглинки имеют средние (выборочные) значения удельного сопротивления под конусом 2,3 и 1,4 МПа соответственно. Значения фрикционного отношения для обоих видов имеют широкий диапазон, поэтому можно говорить только об «отсекающих» значениях 6% для тугопластичной и 4% для мягкопластичной консистенции.

Ул. Ахмерова (№ 4, см. рис. 3, д). Объект близок к предыдущему, расположен по ул. Ершова (№ 3, см. рис. 3, в), географически и находится в пределах того же геоморфологического элемента. Диаграммы этих объектов, показанные на рис. 3, в, д, очень похожи. Различие заключается лишь в отдельных точках.

Ул. Ахметзянова (№ 5, см. рис. 3, е). Наблюдается еще более четкое по сравнению с предыдущими объектами по ул. Ершова (№ 3, см. рис. 3, в) и ул. Ахмерова (№ 4, см. рис. 3, д) выделение грунтов по значению удельного сопротивления под конусом. В разрезе выделяются мелкие водонасыщенные пески ИГЭ 6а и водонасыщенные пылеватые пески ИГЭ 5а ($q_c = 8–38$ МПа), полутвердые суглинки ИГЭ 3а ($q_c = 4–8$ МПа), пластичные супеси ИГЭ 4б ($q_c = 3–4$ МПа), тугопластичные суглинки ИГЭ 3б ($q_c = 1,8–3,0$ МПа) и мяг-

Исследование грунтов г. Казани по величине удельного сопротивления грунта под конусом q_c и фрикционного отношения R_f
Study of soils in Kazan by the value of specific cone resistance q_c and frictional ratio R_f

Возраст	Возможный вид грунта	№ ИГЭ	Сопротивление грунта под конусом q_c , МПа	Фрикционное отношение $R_f = (f_s/q_c) \cdot 100$, %	Выборка n
N ₂ — Q	Песок средней крупности водонасыщенный	7a	$\frac{5,0-48,0}{24,3}$	$\frac{0,3-3,0}{1,1}$	245
	Песок мелкий водонасыщенный	6a	$\frac{3,1-45,0}{23,1}$	$\frac{0,2-2,0}{1,1}$	463
	Песок пылеватый водонасыщенный	5a	$\frac{4,1-42,0}{22,7}$	$\frac{0,5-2,0}{1,0}$	653
	Песок пылеватый маловлажный	5	$\frac{5,5-34,0}{7,5}$	$\frac{0,4-1,9}{0,6}$	494
	Супесь твердая	4a	$\frac{1,0-7,0}{3,5}$	$\frac{0,5-4,0}{2,5}$	59
	Супесь пластичная	4б	$\frac{2,0-4,0}{2,9}$	$\frac{0,5-8,0}{2,9}$	132
	Суглинок твердый, полутвердый	3a	$\frac{2,0-11,0}{5,8}$	$\frac{0,2-3,7}{2,1}$	365
	Суглинок тугопластичный	3б	$\frac{0,5-6,3}{2,3}$	$\frac{0,5-9,0}{2,4}$	524
	Суглинок мягкопластичный	3в	$\frac{0,4-3,7}{1,4}$	$\frac{0,5-9,5}{2,9}$	467
	Суглинок текучепластичный	3г	$\frac{0,2-1,6}{0,7}$	$\frac{2,0-9,0}{3,6}$	24
	Глина твердая, полутвердая	2a	$\frac{1,0-6,0}{3,7}$	$\frac{2,0-8,0}{5,1}$	63
	Глина тугопластичная	2б	$\frac{0,4-5,0}{2,4}$	$\frac{1,0-8,0}{5,1}$	321
P ₂ kz	Глина твердая	9a	$\frac{3,0-20,4}{7,3}$	$\frac{1,0-7,0}{2,5}$	219
	Карбонатно-глинистая мука	10б	$\frac{19,0-58,4}{35,6}$	$\frac{0,4-1,3}{0,5}$	25

Примечание: в числителе указан диапазон значений, в знаменателе — среднее значение (выборочное).

копластичные суглинки ИГЭ 3в ($q_c = 1,0-1,5$ МПа). Характерна тенденция к увеличению от песков до суглинков как средних, так и отсекающих значений R_f .

Ул. Аббасова (№ 6, см. рис. 3, f). В разрезе встречены грунты дочетвертичного возраста — пермские твердые глины ИГЭ 9a. На диаграмме они легко узнаваемы по высоким значениям удельного сопротивления под конусом $q_c = 4-20$ МПа. При этом фрикционное отношение заметно меньше, чем у неоген-четвертичных твердых и полутвердых глин ИГЭ 2a, что не связано с различиями в пластичности глин. Так, глины ИГЭ 2a имеют средние значения верхнего предела $W_L = 44\%$, нижнего предела $W_p = 22\%$, числа пластичности $I_p = 21$. Параметры для пермских глин ИГЭ 9a схожи: $W_L = 40\%$, $W_p = 20\%$, $I_p = 20$. Очевидно, для сравнения грунтов одной консистенции со схожими параметрами пластичности, но различно-

го возраста необходим учет дополнительных параметров.

Изменение характеристик мелких и пылеватых песков, мягкопластичных и тугопластичных суглинков в целом имеет схожие тенденции, что и на приведенных выше площадках. Новым является наличие в разрезе грунтов текучепластичной консистенции — суглинков ИГЭ 3г с нижней границей удельного сопротивления под конусом, равной 0,25 МПа. Широкий диапазон значений фрикционного отношения для таких грунтов делает невозможным их выделение по этому параметру.

Ул. Умырзая (№ 7, см. рис. 3, g). Помимо твердых глин ИГЭ 9a в разрезе появляются другие грунты пермского возраста — карбонатно-глинистая мука ИГЭ 10б. Высокие значения удельного сопротивления под конусом $q_c = 19,0-58,4$ МПа связаны с наличием большого количества включений дресвы и щебня

карбонатных отложений. Анализировать такие грунты по соотношению удельного сопротивления грунта под конусом и фрикционного отношения практически невозможно вследствие их значительной неоднородности, однако в целом наблюдается общий тренд к аномально высоким значениям q_c (среднее значение (выборочное) 35,6 МПа на исследуемой территории) по сравнению с другими дисперсными грунтами на территории г. Казани и аномально низким для глинистых грунтов значениям R_f (среднее значение (выборочное) 0,5% на исследуемой территории).

Ул. Коваля (№ 8, см. рис. 3, h). Так же, как и по рассмотренным выше площадкам, наблюдается тенденция к увеличению удельного сопротивления под конусом зонда q_c от практически «нулевых» значений для текучепластичных суглинков до 35 МПа для мелких водонасыщенных песков. Фрикционное от-

ношение планомерно снижается с 14 до 0% вместе с сокращением пылевато-глинистых частиц.

Результаты парной обработки параметров статического зондирования q_c и R_f представлены в таблице.

Диапазон значений параметров статического зондирования неоген-четвертичных грунтов для удельного сопротивления под конусом ограничивается значениями q_c до 48 МПа при значениях фрикционного отношения R_f от 0,2 до 9,5%.

Грунтам пермского возраста соответствуют высокие значения удельного сопротивления под конусом (до 58,4 МПа) при фрикционном отношении до 7,0%. Так, карбонатно-глинистая мука (ИГЭ 106) имеет самые большие значения $q_c = 19,0\text{--}58,4$ МПа при низких значениях фрикционного отношения ($R_f = 0,4\text{--}1,3\%$).

Среднее значение (выборочное) удельного сопротивления под конусом для пермской глины отличается от тех, что характерны для неоген-четвертичных глин, практически в два раза: $q_c = 7,3$ МПа при $R_f = 2,5\%$ и $q_c = 3,7$ МПа при $R_f = 5,1\%$ соответственно.

Сравнение показывает, что в целом для неоген-четвертичных несвязных грунтов г. Казани характерны более высокие значения как удельного сопротивления грунта под конусом, так и фрикционного отношения: $q_c = 3,0\text{--}48,0$ МПа, $R_f = 0,2\text{--}3,0\%$ (московский регион — $q_c = 2,0\text{--}25,0$ МПа, $R_f = 0,5\text{--}3,5\%$; Республика Башкортостан — $q_c = 1,5\text{--}12,0$ МПа, $R_f < 2,0\%$; Самарская область — $R_f = 0,5\text{--}2,3\%$). Супесям соответствуют значения $q_c = 1,0\text{--}7,0$ МПа, $R_f = 0,5\text{--}8,0\%$ (московский регион — $q_c = 1,0\text{--}3,0$ МПа, $R_f = 1,2\text{--}3,0\%$); суглинкам — $q_c = 0,2\text{--}11,0$ МПа, $R_f = 0,2\text{--}9,5\%$ (московский регион — $q_c = 0,7\text{--}4,0$ МПа, $R_f = 2,5\text{--}6,5\%$; Республика Башкортостан — $q_c = 1,0\text{--}4,0$ МПа, $R_f = 2,0\text{--}10,0\%$); глинам — $q_c = 0,4\text{--}6,0$ МПа, $R_f = 3,0\text{--}8,0\%$ (московский регион — $q_c = 0,8\text{--}3,0$ МПа, $R_f = 5,0\text{--}11,0\%$; Республика Башкортостан — $q_c = 1,0\text{--}4,0$ МПа, $R_f > 2,5\%$).

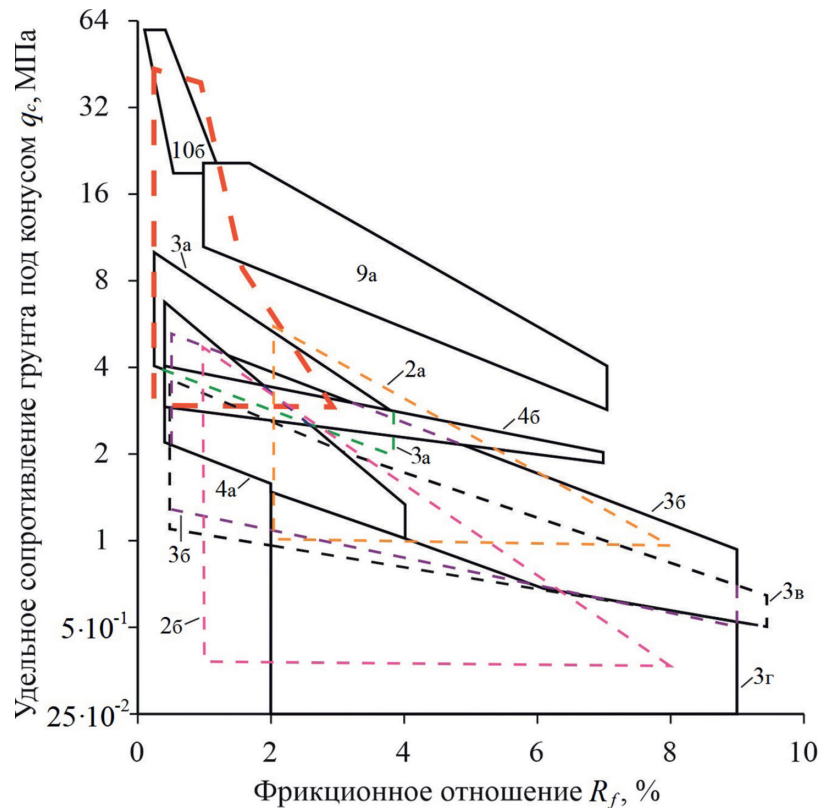


Рис. 4. Сводная диаграмма разновидностей дисперсных грунтов г. Казани в соответствии с нумерацией ИГЭ в таблице. Обозначения: красным пунктиром выделена область для песчаных грунтов, зеленым — для суглинков твердых и полутвердых, фиолетовым — тугопластичных, черным — мягкопластичных, синим — для супесей твердых, розовым — для глин тугопластичных, оранжевым — твердых и полутвердых

Fig. 4. Summary diagram of the varieties of dispersed soils in Kazan in accordance with the numbering of the engineering-geological elements in the table. Designations: red dotted line marks the area for sandy soils, green — for very stiff and stiff loams, purple — for firm-stiff loams, black — for soft-firm loams, blue — for very stiff sandy loams, pink — for firm-stiff clays, orange — for very stiff and stiff clays

Объединенный анализ всех исследуемых площадок позволил построить сводную диаграмму значений q_c и R_f (рис. 4), на которой прослеживается тенденция для разделения дисперсных грунтов по данным статического зондирования.

Заключение

1. Анализ данных статического зондирования для разновозрастных грунтов г. Казани (14 разновидностей) подтверждает возможность предваритель-

ной оценки инженерно-геологических условий территории путем выделения песчаных и глинистых грунтов на основании сопоставления значений удельного сопротивления грунта под конусом зонда q_c и фрикционного отношения R_f .

2. Наличие региональных идентификационных диаграмм для грунтов позволит оптимизировать ресурсные затраты при выполнении проектно-изыскательских работ. 🌐

Список литературы

1. Беляев В.П., 1970. Оценка строительных свойств грунтов статическим зондированием. Информационный бюллетень, № 4(21), с. 21–28.
2. Беляев В.П., 2005. Свайные фундаменты в условиях строительства и реконструкции г. Самары (1960 ... 2000). Дис. ... канд. техн. наук, Самарский инженерно-строительный университет, Самара.
3. Болдырев Г.Г., 2017. Руководство по интерпретации данных испытаний методами статического и динамического зондирования для геотехнического проектирования. ООО «Прондо», Москва.
4. Болдырев Г.Г., Идрисов И.Х., 2019. О классификации грунтов по данным статического зондирования. Инженерная геология, Том XIV, № 4, с. 6–23, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-4-6-23>.

5. Зиангиров Р.С., Каширский В.И., 2004. Определение вида и оценка параметров состава и свойств песчаных грунтов по результатам статического зондирования. Объединенный научный журнал, № 33, с. 71–87.
6. Зиангиров Р.С., Каширский В.И., 2006. Статическое зондирование в инженерно-геологических изысканиях. Инженерная геология, ноябрь, с. 13–20.
7. Латыпов А.И., Яббарова Е.Н., 2019. Об интерпретации данных статического зондирования грунтов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, Том 330, № 10, с. 82–90, <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/230>.
8. Малышева О.Н., Нелидов Н.Н., Соколов М.Н., 1965. Геология района г. Казани. Изд-во Казанского университета, Казань.
9. Норшайн А.В., Рыжков И.Б., 1998. Об оптимизации изысканий под фундаменты из забивных свай. Материалы VI Международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения, Москва, 1998, с. 183–187.
10. Рыжков И.Б., Исаев О.Н., 2010. Статическое зондирование грунтов. АСВ, Москва.
11. Рыжков И.Б., Хафизов А.Р., Хазипова А.Ф., Халиуллин Р.Г., Попкова Е.А., Мамлеева Р.Г., 2020. Использование статического зондирования для распознавания литологических разновидностей грунтов. Современные строительные материалы и технологии, Сборник научных статей II Международной конференции, Вып. 2, Калининград, 2020, с. 190–201.
12. Шевелев А.И., Жаркова Н.И., Хузин И.А., 2009. Инженерно-геологические условия города Казани. Геология крупных городов, Материалы Международной конференции, Санкт-Петербург, 2009, с. 15–16.
13. Яббарова Е.Н., Латыпов А.И., 2021. Изучение грунтовых условий г. Казани методом статического зондирования. Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии, Труды Международной научной конференции, Москва, 2021, с. 287–290.
14. Яббарова Е.Н., Латыпов А.И., 2021. Уточнение корреляционных зависимостей между данными статического зондирования и деформационно-прочностными характеристиками грунтов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, Том 332, № 6, с. 82–89, <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/06/3238>.
15. Begemann H.K.S., 1965. The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. Proceedings of the 6th International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal, Canada, 1965, Vol. 1, pp. 17–20.
16. Douglas B.J., Olsen R.S., 1981. Soil classification using electric cone penetrometer. Proceedings of the Symposium on cone penetration testing and experience, Saint Louis, MO, USA, 1981, pp. 209–227.
17. Eslami A., Fellenius B.H., 1997. Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 34, No. 6, pp. 886–904, <https://doi.org/10.1139/t97-056>.
18. International references test procedure for cone penetration test (CPT), 1989. Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils — TC 16. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Sweden.
19. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., 2009. Cone-penetration testing in geotechnical practice. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 46, Issue 6, <https://doi.org/10.1007/s11204-010-9072-x>.
20. Robertson P.K., 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 1, pp. 151–158, <https://doi.org/10.1139/t90-014>.

References

1. Belyaev V.P., 1970. Assessment of the building properties of soils by cone penetration test. Informatsionnyy Byulleten, No. 4(21), pp. 21–28. (in Russian)
2. Belyaev V.P., 2005. Pile foundations in the conditions of construction and reconstruction of Samara (1960 ... 2000). PhD Thesis, Samara Civil Engineering University, Samara. (in Russian)
3. Boldyrev G.G., 2017. Manual for cone and standard penetration test' data interpretation for geotechnical design. Prondo LLC, Moscow. (in Russian)
4. Boldyrev G.G., Idrisov I.Kh., 2019. About classification of soils by cone penetration test. Engineering Geology World, Vol. XIV, No. 4, pp. 6–23, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-4-6-23>. (in Russian)
5. Zianguirov R.S., Kashirskiy V.I., 2004. Determination of the type and assessment of the parameters of the composition and properties of sandy soils based on the results of cone penetration test. Obyedinenny Nauchny Zhurnal, No. 33, pp. 71–87. (in Russian)
6. Zianguirov R.S., Kashirskiy V.I., 2006. Cone penetration tests in engineering-geological surveys. Inzhenernaya Geologiya, November, pp. 13–20. (in Russian)
7. Latypov A.I., Yabbarova E.N., 2019. On interpretation of the data of soil cone penetration tests. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, Vol. 330, No. 10, pp. 82–90, <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/230>. (in Russian)
8. Malysheva O.N., Nelidov N.N., Sokolov M.N., 1965. Geology of the district of Kazan. Publishing house of the Kazan University, Kazan. (in Russian)
9. Norshayan A.V., Ryzhkov I.B., 1998. Optimization of surveys for foundations made of driven piles. Materials of the VI International Conference on the problems of pile foundation engineering, Moscow, 1998, pp. 183–187. (in Russian)
10. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2010. Cone penetration tests of soils. АСВ, Moscow. (in Russian)

11. Ryzhkov I.B., Khafizov A.R., Khazipova A.F., Khaliullin R.G., Popkova E.A., Mamleeva R.G., 2020. The use of static sensing recognition lithological varieties soils'. Modern building materials and technologies, Collection of scientific papers of the II International Conference, Issue 2, Kaliningrad, 2020, pp. 190–201. (in Russian)
12. Shevelev A.I., Zharkova N.I., Khuzin I.A., 2009. Engineering-geological conditions of the Kazan. Geology of large cities, Materials of International Conference, Saint Petersburg, 2009, pp. 15–16. (in Russian)
13. Yabbarova E.N., Latypov A.I., 2021. Study of soil conditions of Kazan city by cone penetration test. New ideas and theoretical aspects of engineering geology, Proceedings of the International scientific Conference, Moscow, 2021, pp. 287–290. (in Russian)
14. Yabbarova E.N., Latypov A.I., 2021. Clarification of correlation dependences between the parameters of cone penetration test and strength and deformation characteristics of soils. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, Vol. 332, No. 6, pp. 82–89, <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/06/3238>. (in Russian)
15. Begemann H.K.S., 1965. The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. Proceedings of the 6th International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal, Canada, 1965, Vol. 1, pp. 17–20.
16. Douglas B.J., Olsen R.S., 1981. Soil classification using electric cone penetrometer. Proceedings of the Symposium on cone penetration testing and experience, Saint Louis, MO, USA, 1981, pp. 209–227.
17. Eslami A., Fellenius B.H., 1997. Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 34, No. 6, pp. 886–904, <https://doi.org/10.1139/t97-056>.
18. International references test procedure for cone penetration test (CPT), 1989. Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils — TC 16. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Sweden.
19. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., 2009. Cone-penetration testing in geotechnical practice. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 46, Issue 6, <https://doi.org/10.1007/s11204-010-9072-x>.
20. Robertson P.K., 1990. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 1, pp. 151–158, <https://doi.org/10.1139/t90-014>.

Информация об авторах

ЯББАРОВА ЕКАТЕРИНА НИКОЛАЕВНА

Ассистент кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань, Россия

ЛАТЫПОВ АЙРАТ ИСЛАМГАЛИЕВИЧ

Доцент кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, к.т.н., г. Казань, Россия

ДИВЕЕВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Инженер ООО «НПП «Геотек»», г. Пенза, Россия; аспирант кафедры геотехники и дорожного строительства Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Information about the authors

EKATERINA N. YABBAROVA

Assistant of the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan Federal University; Kazan, Russia

AIRAT I. LATYPOV

PhD (Technics); Associate Professor in the Department of General Geology and Hydrogeology, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan Federal University; Kazan, Russia

ALEKSEY A. DIVEEV

Engineer of the Scientific Production Enterprise Geotek LLC; Penza, Russia; Postgraduate Student of the Department of Geotechnics and Road Construction, Penza State University of Architecture and Construction; Penza, Russia



Фото Е.Н. Яббаровой