

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.1(06)

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.57-69

## Совершенствование категорий сложности инженерно-геологических условий гражданского строительства

Анатолий Иванович Полищук, Максим Борисович Мариничев,  
Виолетта Олеговна Бушуева

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (КубГАУ);  
г. Краснодар, Россия*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При освоении территорий, обладающих определенной инженерно-геологической спецификой, нерешенным остается ряд вопросов фундаментостроения. Такая специфика обусловлена сочетанием различных региональных параметров рассматриваемых территорий, что вызывает необходимость развития существующих методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий.

**Материалы и методы.** Авторами проведена работа по обобщению инженерно-геологических условий более 100 строительных площадок юга России, которые в соответствии с действующими нормативами характеризуются как сложные (СП 47.13330.2016). Установлено, что существующая классификация сложности инженерно-геологических условий строительства не всегда отражает реальные условия освоения подобных территорий и нуждается в совершенствовании.

**Результаты.** Предложена категория сложности инженерно-геологических условий — особо сложная. Под категорией особо сложная понимается сочетание трех и более факторов: высокая расчетная сейсмичность строительной площадки; незакономерное чередование слоев основания при их значительной неоднородности по показателям свойств грунтов в плане и по глубине; риск развития оползневых и гравитационных процессов; существенный перепад отметок рельефа в пределах строительной площадки; уклоны рельефа в двух направлениях.

**Выводы.** С учетом предложенной категории инженерно-геологических условий разработана классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий в особо сложных условиях строительства и представлено их практическое внедрение. Особо сложная категория инженерно-геологических условий строительства может рассматриваться как перспективная для внесения в нормативные документы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** инженерно-геологические условия, категории сложности, высотные здания, свайные фундаменты, методы расчета, сейсмические воздействия, переменный рельеф

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Полищук А.И., Мариничев М.Б., Бушуева В.О. Совершенствование категорий сложности инженерно-геологических условий гражданского строительства // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 4. Ст. 57–69. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.57-69

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Иванович Полищук, [ofpai@mail.ru](mailto:ofpai@mail.ru).

## Improvement of complexity categories of civil engineering geological conditions

Anatoly I. Polishchuk, Maxim B. Marinichev, Violetta O. Bushueva

*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KubSAU); Krasnodar, Russian Federation*

### ABSTRACT

**Introduction.** When developing territories with certain engineering and geological specificity, a number of foundation construction issues remain unresolved. Such specificity is caused by the combination of different regional parameters of the territories under consideration, which necessitates the development of existing methods of calculation and design of foundations for multi-storey and high-rise buildings.

**Materials and methods.** The authors carried out the work on generalization of engineering-geological conditions of more than 100 construction sites in the south of Russia, which are characterized as complex according to the current regulations (CP 47.13330.2016). It was found that the existing classification of complexity of engineering-geological conditions of construction does not always reflect the real conditions of development of such areas and needs improvement.

**Results.** The category of complexity of engineering-geological conditions is proposed — especially complex. The category of especially complex is understood as a combination of three or more factors: high design seismicity of the construction site; irregular alternation of foundation layers with their significant heterogeneity in terms of soil properties in plan and depth; risk of landslide and gravitational processes development; significant difference of relief marks within the construction site; relief slopes in two directions.

**Conclusions.** Taking into account the proposed category of engineering-geological conditions, the classification of methods of calculation and design of foundations of multi-storey buildings in especially complex conditions of construction has been developed and their practical implementation is presented. The particularly complex category of engineering-geological conditions of construction can be considered as promising for introduction into the normative documents.

**KEYWORDS:** engineering-geological conditions, complexity categories, high-rise buildings, pile foundations, calculation methods, seismic effects, variable topography

**FOR CITATION:** Polishchuk A.I., Marinichev M.B., Bushueva V.O. Improvement of complexity categories of civil engineering geological conditions. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(4):57-69. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.4.57-69

Corresponding author: Anatoly I. Polishchuk, [ofpai@mail.ru](mailto:ofpai@mail.ru).

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение в практику строительства передовых способов возведения многоэтажных и высотных зданий открыло перед специалистами возможности для реализации смелых архитектурно-строительных решений [1–4]. Постоянно растущая этажность зданий в крупных городах связана с экономическими аспектами, а также с дефицитом незастроенных участков (территорий), большинство из которых характеризуются как особо сложные условия строительства [5–7]. Компенсировать влияние совокупности неблагоприятных факторов можно за счет разработки новых и развития существующих методов расчета и конструирования фундаментов зданий, сооружений [8–11]. При выполнении исследований также необходимо развитие категорий инженерно-

геологических условий строительства, отражающих реальную сложность решаемых задач [12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Кубанском государственном аграрном университете имени И.Т. Трубилина на кафедре оснований и фундаментов ведутся исследования по обобщению инженерно-геологических условий строительных площадок для территорий юга России под гражданское строительство. Рассматриваемые исследования базируются на результатах составления схематичной карты новейшей тектоники для юга России (авторы Л.И. Турбин, Н.В. Александрова, 1978); материалах инженерно-геологического районирования территории Краснодарского края (авторы О.Г. Водопьянова, А.Н. Батурина и др., 2005); данных исследований опас-

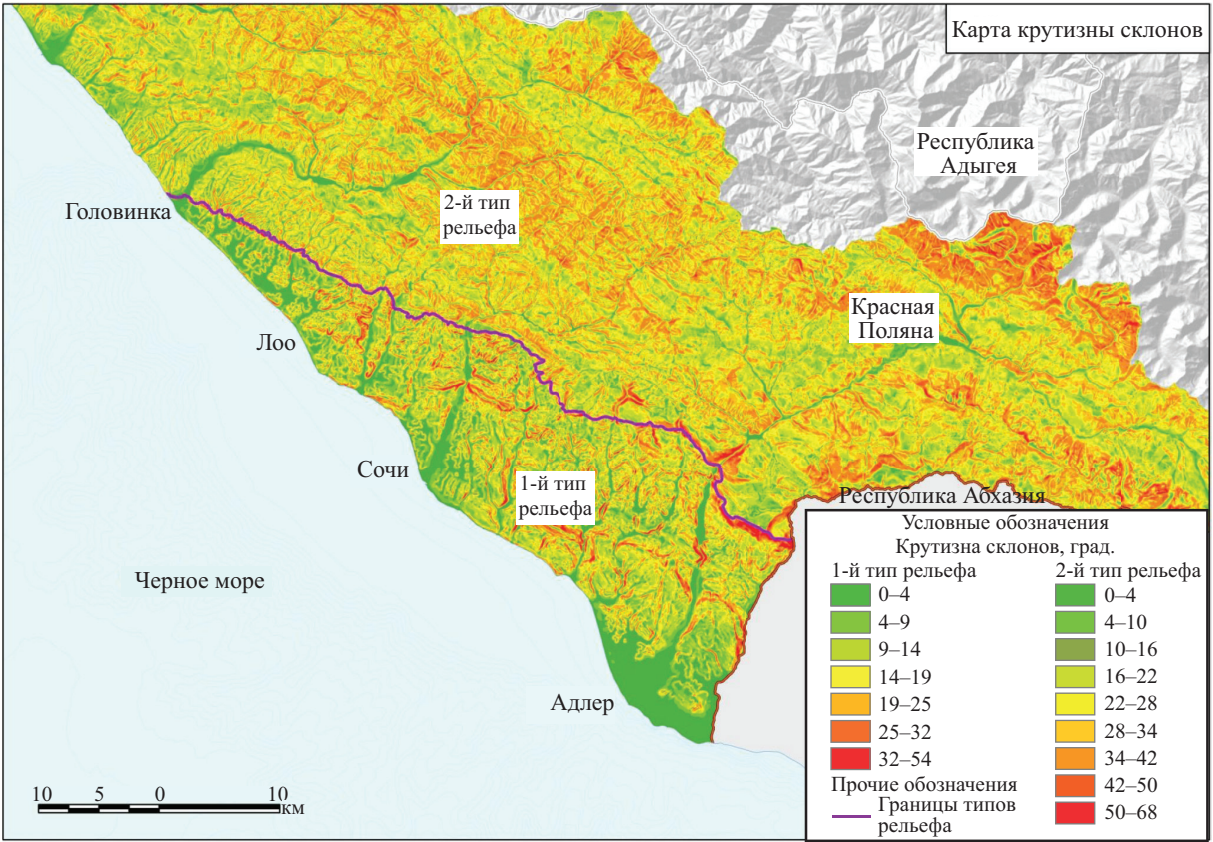


Рис. 1. Схема карты склонов на территории Большого Сочи (ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016)

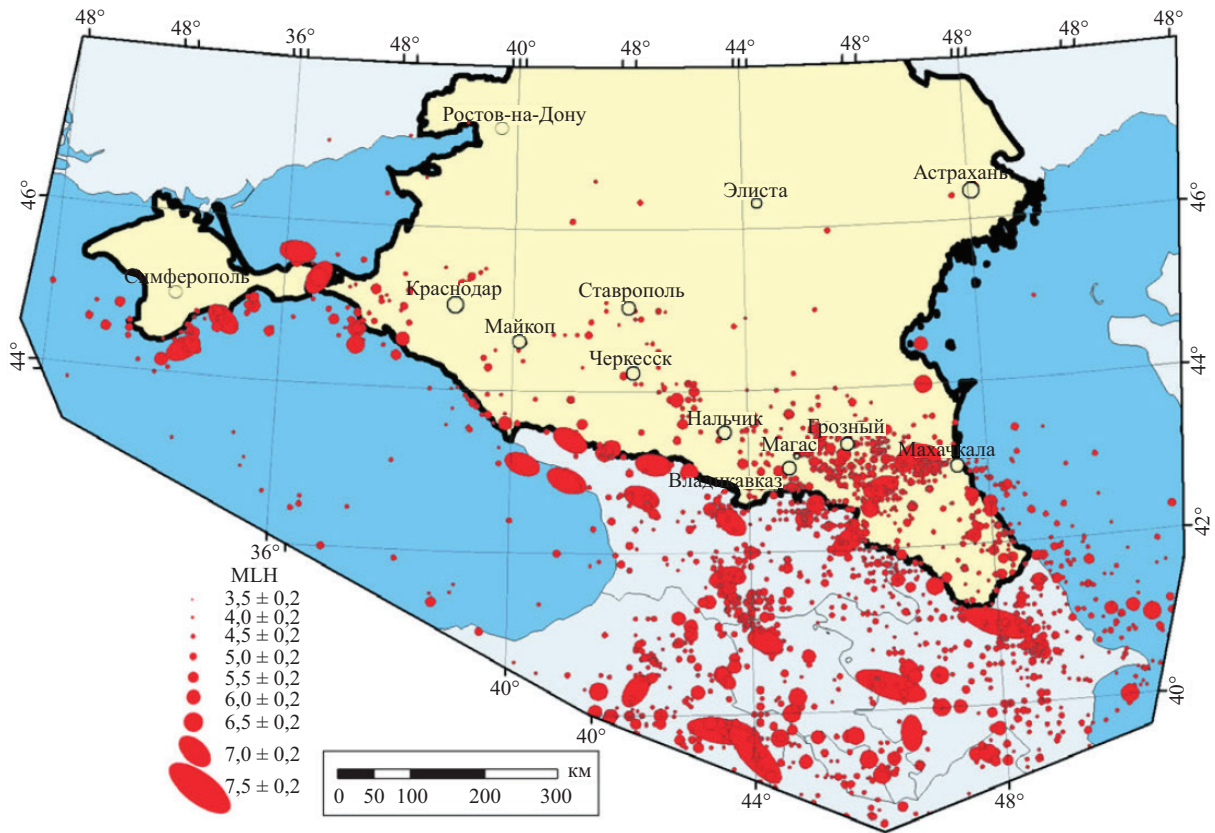


Рис. 2. Схема карты сейсмичности Крымско-Северокавказского региона (В.И. Уломов, 2015)

ных геологических процессов на территории Большого Сочи (ОАО «Росстройизыскания», 2004–2012; ОАО «Кавгазгидрогеология», 2007; ФГБУ «Гидро-спецгеология», 2016); материалах Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта (автор В.И. Уломов и др., 2015).

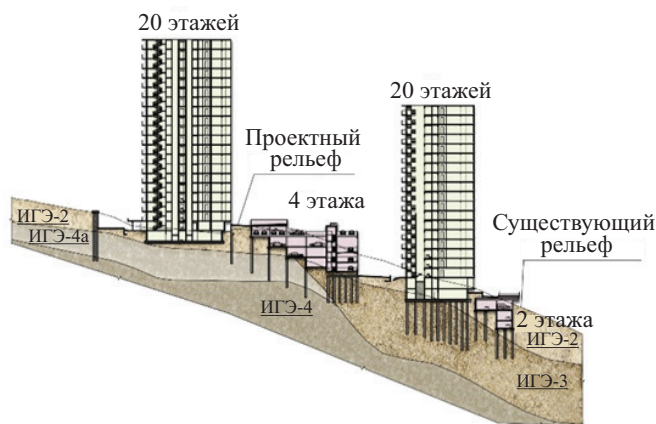
В ходе изучения опасных инженерно-геологических процессов и сбора сведений об их распространении на территории юга России рассмотрены:

- гравитационные процессы [13, 14];
- сейсмические воздействия [15, 16];

- процессы, связанные с подземными водами [17, 18];
- процессы, связанные с поверхностными водотоками;
- процессы, связанные с береговой зоной морей<sup>1</sup> [19].

В период с 2004 г. по настоящее время авторами было проанализировано более 100 строительных

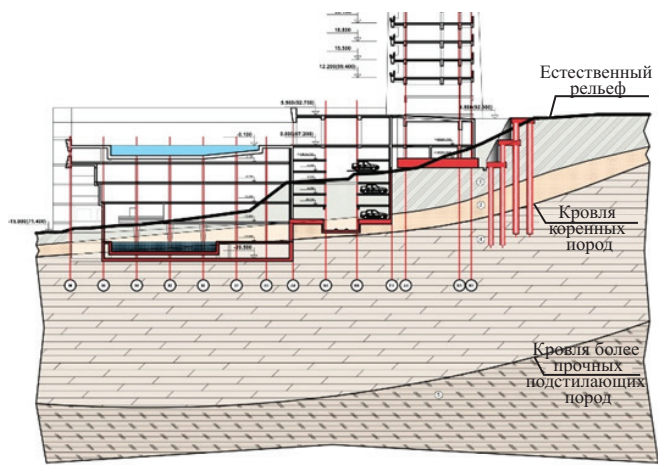
<sup>1</sup> Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements // ASIRI Project National. 2012.



Сейсмичность 8 баллов  
Уклон рельефа более 25°  
Более пяти различных ИГЭ  
Оползневые процессы  
Переменный УПВ  
Давление > 400 кПа  
Линзы слабых грунтов

Рис. 3. Особенности условий строительства многоэтажного здания в г. Сочи по ул. Есауленко (пример)





Сейсмичность 9 баллов  
Уклон рельефа более 25°  
Уклон в двух направлениях  
Оползневые процессы  
Переменный УПВ  
Давление > 500 кПа

Рис. 4. Особенности условий строительства многоэтажного здания в г. Сочи по ул. Бытха (пример)

Предлагаемая категория сложности инженерно-геологических условий строительства (особо сложная)

| Факторы                                                                                                                             | Категория сложности инженерно-геологических условий строительства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                     | Оособо сложная                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Геоморфологические условия                                                                                                          | В пределах площадки (участка) строительства выявлено несколько геоморфологических элементов разного генезиса. Углы наклона естественного рельефа более 15 %. Уклоны в пределах площадки — в двух направлениях. Поверхность сильно расчлененная                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Геологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой                                                     | Более пяти слоев разной мощности. Угол уклона всех слоев более 10°. Уклоны слоев в двух направлениях. Незакономерное чередование слоев со значительной степенью неоднородности по показателям свойств грунтов, изменяющихся в плане или по глубине. Наличие линз, тектонических нарушений. Скальные (полускальные) грунты сильно трещиноватые, расчлененные, выветрелые (угол падения слоев более 30°). Широкое распространение специфических грунтов в пределах площадки на глубину более 5 м |
| Гидрогеологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой                                                | Два и более водоносных горизонта, гидравлически связанных между собой фильтрационными окнами. Коэффициенты фильтрации подземных вод превышают 50 м/сут. Подземные воды оказывают агрессивное воздействие на бетонные и металлические конструкции. Факторы оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов                                                                                                                                         |
| Геологические и инженерно-геологические процессы, отрицательно влияющие на условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений | Имеют повсеместное распространение при одновременном сочетании двух и более процессов (сейсмических, оползневых, гравитационных, подтопления). Факторы оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов                                                                                                                                                                                                                                            |

площадок для территорий Краснодарского края, Республики Адыгея, Ставропольского края, Чеченской Республики, Республики Ингушетия, Республики Крым, Карачаево-Черкесской Республики и др. По итогам выполненной работы выделены (на карте инженерно-геологического районирования) *благоприятные* для строительства площадки (до 20 % территории), *условно благоприятные* для строительства (до 50 % территории), *неблагоприятные* для строительства площадки (до 30 % территории).

Системным анализом полученных данных установлено, что простых инженерно-геологических ус-

ловий в пределах рассматриваемых строительных площадок практически нет. Простыми их можно назвать в тех случаях, когда предварительно выполняется работа по инженерной подготовке строительства. Необходимость выполнения такой работы на строительных площадках обусловлена объективными инженерно-геологическими факторами: крутыми склонами поверхности основания, высокой сейсмичностью строительных площадок, распространением специфических видов грунтов, наличием подземных вод на незначительной глубине и их агрессивностью по отношению к железобетонным конструкциям и др.

|                                                                                   |                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Метод расчета и конструирования фундаментов на основании результатов исследования параметров взаимодействия с грунтом одиночных свай и свай в составе группы |
|  | Метод расчета и конструирования свайных фундаментов с применением промежуточного распределительного слоя                                                     |
|  | Метод регулирования неравномерных осадок фундаментов путем повышения их пространственной жесткости                                                           |
|  | Метод конструирования фундаментов с учетом их адаптации к переменной поверхности рельефа                                                                     |
|  | Метод строительства фундаментов с учетом последовательности выполнения постоянных и временных деформационных швов                                            |
|  | Метод устройства фундаментов с заданной последовательностью включения элементов в совместную работу                                                          |

**Рис. 5.** Классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий в особо сложных условиях строительства

(рис. 1, 2). Многие инвестиционно привлекательные строительные площадки, классифицируемые как неблагоприятные для строительства, вызывают определенный негативный прогноз для градостроительных вложений со стороны частных инвесторов.

В настоящее время, согласно действующему СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства», для строительных площадок (территорий) под возведение зданий действует положение (обязательное по СП) о категориях сложности инженерно-геологических условий. При этом исполнителям под устройство фундаментов зданий предлагается рассматривать три категории инженерно-геологических

условий строительства: *простая* (1-я), *средняя* (2-я) и *сложная* (3-я).

Проведенные исследования пригодности рассматриваемых площадок юга России под строительство зданий показывают, что большинство из них соответствуют требованиям категорий сложности инженерно-геологических условий строительства (СП 47.13330.2016). Однако в практике строительства гражданских зданий (в особенности многоэтажных и высотных зданий) имеются случаи (рис. 3, 4), когда инженерно-геологические условия (по требованиям СП 47.13330.2016) не соответствуют 3-й категории сложности и существующая классификация нуждается в совершенствовании.



**Рис. 6.** Карта-схема г. Сочи с привязкой разработанных методов строительства фундаментов в особо сложных инженерно-геологических условиях (применительно к реализованным многоэтажным и высотным зданиям)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Авторами предложена категория сложности инженерно-геологических условий — *особо сложная* (таблица).

Под категорией *особо сложная* понимается сочетание трех и более факторов: высокая расчетная сейсмичность строительной площадки; незакономерное чередование слоев основания при их значительной неоднородности по показателям свойств грунтов в плане и по глубине; риск развития оползневых и гравитационных процессов; существенный перепад отметок рельефа в пределах строительной площадки; уклоны рельефа в двух направлениях.

Авторами под руководством доктора технических наук М.Б. Мариничева была подготовлена классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий в особо сложных условиях строительства, когда действуют одновременно несколько факторов (обычно три и более), представленная на рис. 5. В зависимости от совокупности внешних воздействий и исходных инженерно-геологических условий при реализации проектов высотных или уникальных зданий выбирается одно из разработанных направлений строительства фундаментов [20–22].

По результатам проведенных исследований составлена схема, демонстрирующая внедрение разработанных методов в практику устройства фундаментов многоэтажных зданий в особо сложных условиях строительства в г. Сочи (рис. 6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты исследований опасных инженерно-геологических процессов и сведения об их распространении на территории юга России; выполнено обобщение инженерно-геологических и гидрогеологических особенностей строительных площадок юга России, характеризующихся как сложные для строительства многоэтажных и высотных зданий; предложена особо сложная категория инженерно-геологических условий строительства гражданских зданий, которая может рассматриваться как перспективная для внесения в нормативные документы. С учетом предложенной категории инженерно-геологических условий разработана классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий в особо сложных условиях строительства и представлено их практическое внедрение.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шадуц К.Ш., Мариничев М.Б., Халимова Л.А. Особенности планирования городской застройки с учетом грунтовых условий строительных площадок // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 4. С. 57–58. EDN HTCQYB.
2. Мариничев М.Б. Компенсация неравномерной сжимаемости основания жесткостью фундамента (на примере грунтовых условий г. Краснодара и края) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2004. 24 с. EDN ZMUMZZ.
3. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : Изд-во АСВ, 2014.
4. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design // Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. 2005. Vol. 16. Issue 1. Pp. 177–213.
5. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Interaction of long piles with the surrounding soil, taking into account non-linear and rheological properties in high-rise construction // 100+ Forum Russia 2019. 2019.
6. Marinichev M.B., Tkachev G. Foundations design and construction for high-rise buildings in seismic areas // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 918. Issue 1. P. 012020. DOI: 10.1088/1757-899x/918/1/012020
7. Marinichev M.B. Geotechnical solutions for high-rise construction in the areas with significant elevation // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. Issue 4. P. 042007. DOI: 10.1088/1757-899x/913/4/042007
8. Мариничев М.Б. Исследование работы буровых свай в составе фундаментов многоэтажных и высотных зданий : монография. Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2022. 155 с. EDN CCMSVB.
9. Langroudi G., Marseh B.P., Heidarpour B., Ekramirad A., Hosseinnazhad A. Dimensional optimization of piled raft foundation // Research Journal of Recent Sciences. 2015. Vol. 4. Issue 4. Pp. 28–31.
10. Randolph M.F. Design of piled raft foundations. 1983.
11. Varaksin S., Apago. Ground Improvement vs. Pile Foundations? 2016.
12. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии. М. : Изд-во АСВ, 2015.
13. Padmanaban M.S., Sreerambabu J. Issues on design of piled raft foundation // Journal of Advances in Chemistry. 2018. Vol. 14. Issue 1. Pp. 6057–6061. DOI: 10.24297/jac.v14i1.5905
14. Mohd A.M., Hussein M., Mallick J. Advances in piled-raft foundation system // Recent Trends in Civil Engineering and Technology. 2013.

15. Poulos H.G. Piled raft foundations: design and applications // *Geotechnique*. 2001. Vol. 51. Issue 2. Pp. 95–113. DOI: 10.1680/geot.51.2.95.40292
16. Yamashita K., Hamada J., Yamada T. Field measurements on piled rafts with grid-form deep mixing walls on soft ground // *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. 2011. Vol. 42. Issue 2. Pp. 1–10.
17. Mets M., Musatova E. Determination of bearing capacity of piles by means of static and dynamic tests // *International Scientific and Technical Conference: Geotechnics in Belarus : Science and Practice. Proceedings of the International Conference*. 2013. Pp. 178–194.
18. Grigoryan A.A. Calculation of pile foundations in view of solving problems of soil mechanics // *International Scientific and Practical Conference on Problems of Soil Mechanics, Foundation Engineering and Transport Construction*. 2004. Pp. 200–205.
19. Katzenbach R., Arslan V., Moorman C. Numerical stimulations of combined piled raft foundations for the new high-rise building, max in Frankfurt am main // *Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering*. 2000.
20. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. Analysis of buildings and structures on complex nonuniformly compressible foundation beds // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2003. Vol. 40. Issue 2. Pp. 42–47. DOI: 10.1023/a:1024432017557
21. Marinichev M. The influence of the shape of high-rise buildings on the design features and methods of making foundations in difficult soil conditions // *E3S Web of Conferences*. 2022. Vol. 363. P. 02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202236302013
22. Polishchuk A.I., Marinichev M.B., Tkachev I.G. Evolution of the foundation design methods for multi-storey and high-rise buildings in seismic regions // *17th Asian Regional Conference on Geotechnical Engineering*. 2023.

Поступила в редакцию 10 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 10 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Анатолий Иванович Полищук** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оснований и фундаментов; **Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (КубГАУ)**; 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13; ofpai@mail.ru;

**Максим Борисович Мариничев** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов; **Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (КубГАУ)**; 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13; marinichev@list.ru;

**Виолетта Олеговна Бушуева** — магистрант кафедры оснований и фундаментов; **Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (КубГАУ)**; 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13; bushueva.vita@mail.ru.

Вклад авторов:

Полищук А.И. — научное руководство исследованиями, разработка и формулирование особой категории сложности инженерно-геологических условий строительства.

Мариничев М.Б. — разработка структуры методов, научно-техническое сопровождение при практическом внедрении разработанных методов, обработка и анализ полученных результатов, разработка и формулирование особой категории сложности инженерно-геологических условий строительства.

Бушуева В.О. — участие в обработке исходной информации и полученных результатов, редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## INTRODUCTION

The introduction of advanced construction methods for multi-storey and high-rise buildings has opened up opportunities for specialists to realize bold architectural and construction solutions [1–4]. The constantly growing number of storeys in large cities is connected with economic aspects, as well as with the shortage of undevel-

oped plots (territories), most of which are characterized as particularly difficult construction conditions [5–7]. It is possible to compensate the influence of the totality of unfavourable factors by developing new and developing existing methods of calculation and design of foundations of buildings, structures [8–11]. In the course of research, it is also necessary to develop categories of engineering-



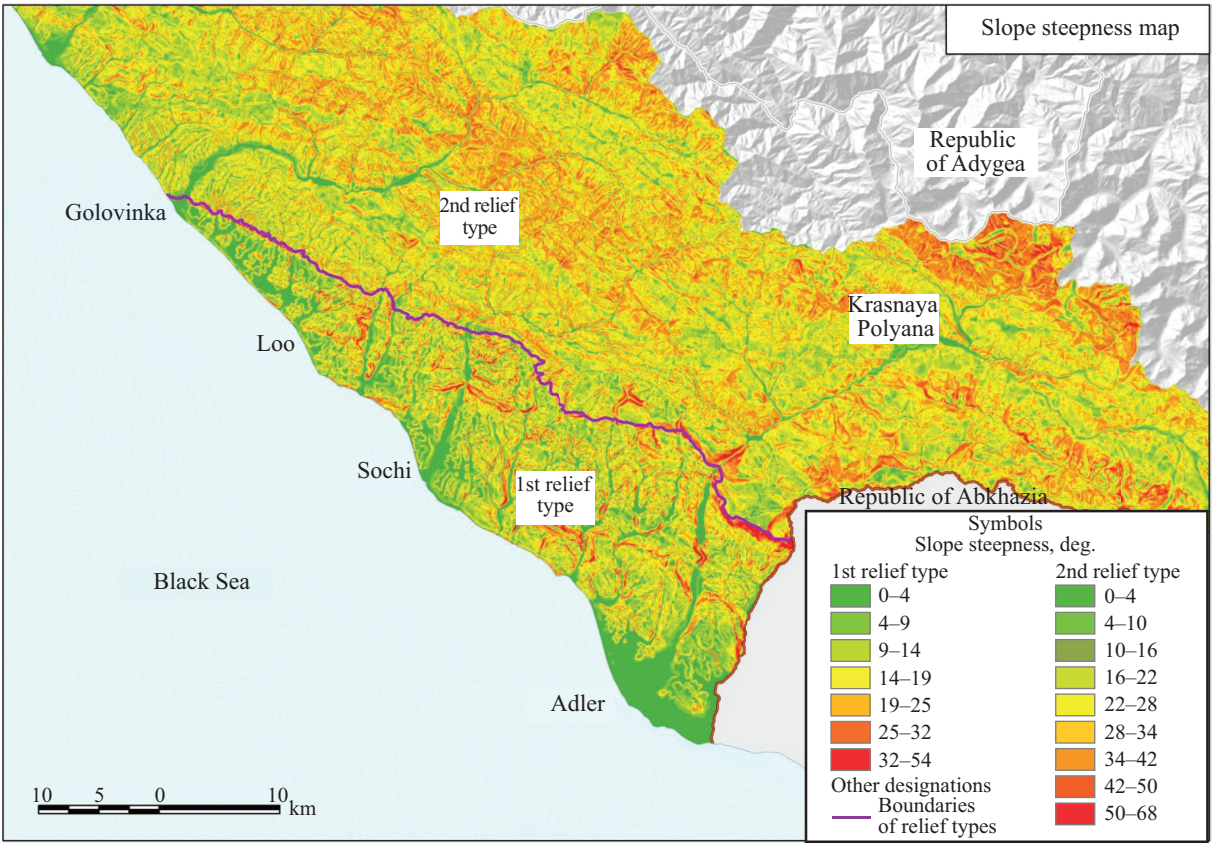


Fig. 1. Scheme of the slope map in the territory of Greater Sochi (FGBU Gidrospetsgeologiya, 2016)

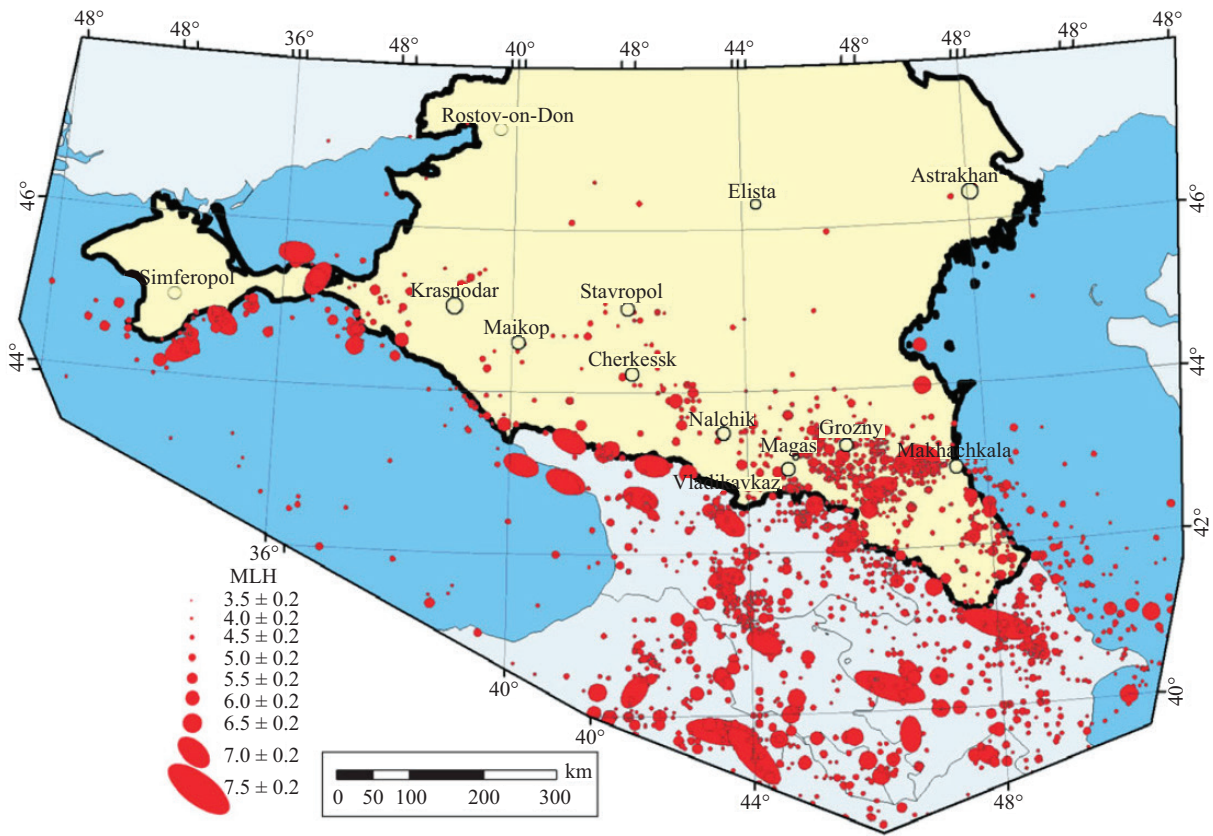


Fig. 2. Scheme of the seismicity map of the Crimean-North Caucasus region (V.I. Ulomov, 2015)



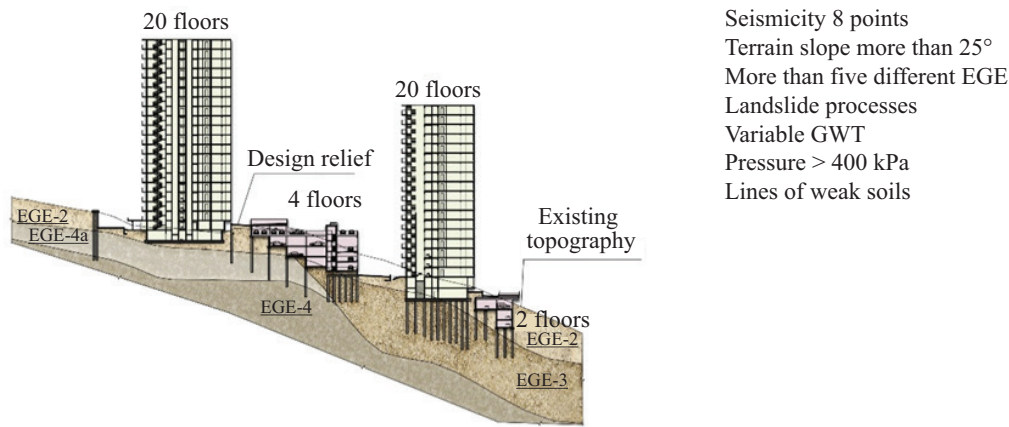


Fig. 3. Peculiarities of the construction conditions of a multi-storey building in Sochi on Esaulenko St. (example)

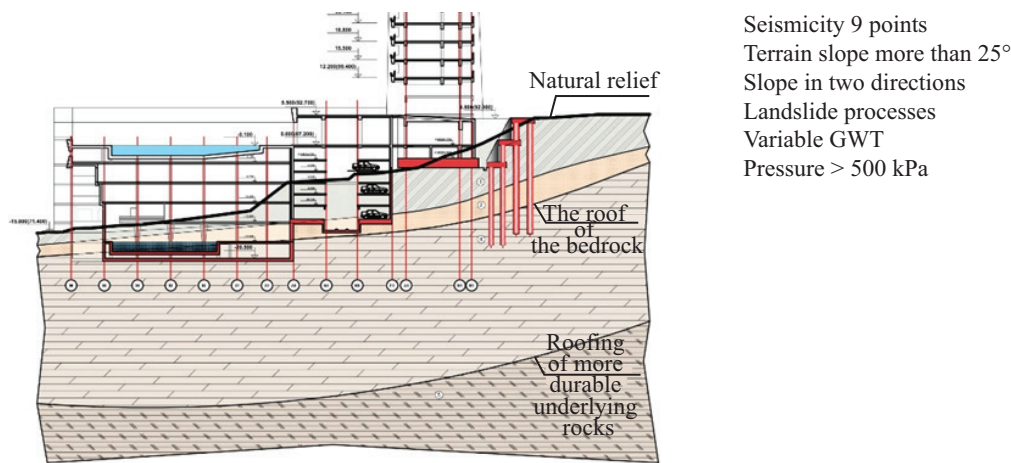


Fig. 4. Peculiarities of construction conditions of a multi-storey building in Sochi on Bytha St. (example)

Proposed category of complexity of engineering-geological conditions of construction (especially complex)

| Factors                                                                                                                                      | Difficulty category<br>engineering and geological conditions of construction                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                              | Particularly complex                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Geomorphological conditions                                                                                                                  | Several geomorphological elements of different genesis have been identified within the construction site (plot). Slope angles of natural relief are more than 15 %. Slopes within the site are in two directions. The surface is highly dissected                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Geological in the field of interaction of buildings and structures with the geological environment                                           | More than five layers of different capacities. Slope angle of all layers is more than 10°. Slopes of layers in two directions. Irregular alternation of layers with a significant degree of heterogeneity in terms of soil properties varying in plan or depth. Presence of lenses, tectonic disturbances. Rocky (semi-rocky) soils are strongly fractured, dissected, weathered (angle of incidence of layers is more than 30°). Widespread distribution of specific soils within the site to a depth of more than 5 m |
| Hydrogeological in the field of interaction of buildings and structures with the geological environment                                      | Two or more aquifers hydraulically connected by filtration windows. Groundwater filtration coefficients exceed 50 m/day. Groundwater has an aggressive effect on concrete and metal structures. Factors have a decisive influence on the choice of design solutions, construction and operation of facilities                                                                                                                                                                                                           |
| Geological and engineering-geological processes adversely affecting the conditions of construction and operation of buildings and structures | They are widespread when two or more processes (seismic, landslide, gravity, waterlogging) combinesimultaneously.Factorshavea decisiveinfluenceonthe choice of design solutions, construction and operation of facilities                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

geological conditions of construction, reflecting the real complexity of the tasks to be solved [12].

MATERIALS AND METHODS

In Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin at the Department of Foundations and Foundations the research on generalization of engineering-geological conditions of construction sites for the territories of the south of Russia for civil construction is carried out. The considered researches are based on the results of drawing up a schematic map of the newest tectonics for the south of Russia (authors L.I. Turbin, N.V. Aleksandrova, 1978); materials of engineering-geological zoning of the territory of Krasnodar region (authors O.G. Vodopyanova, A.N. Baturina, etc., 2005); research data of hazardous geological processes in the territory of Greater Sochi (JSC “Rosstroyizvestny”, 2004–2012; JSC “Kavgazgidrogeologiya”, 2007; FGBU “Gidrospegeologiya”, 2016); materials of the Institute of Physics of the Earth named after O.Y. Schmidt; materials of the Institute of Physics of the Earth named after O.Y. Schmidt. O.Yu. Schmidt Institute of Earth Physics (by V.I. Ulomov et al., 2015).

During the study of dangerous engineering-geological processes and collection of data on their distribution in the south of Russia considered:

- gravitational processes [13, 14];
- seismic impacts [15, 16];
- groundwater-related processes [17, 18];
- processes associated with surface watercourses;
- processes associated with the coastal zone of the seas<sup>1</sup> [19].

In the period from 2004 to the present time the authors analyzed more than 100 construction sites for the territories of Krasnodar Krai, Republic of Adygea,

<sup>1</sup> Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements // ASIRI Project National. 2012.

Stavropol Krai, Chechen Republic, Republic of Ingushetia, Republic of Crimea, Karachay-Cherkess Republic and others. Based on the results of the work performed, the sites favourable for construction (up to 20 % of the territory), conditionally favourable for construction (up to 50 % of the territory), unfavourable for construction (up to 30 % of the territory) were identified (on the map of engineering-geological zoning).

The system analysis of the obtained data has established that there are practically no simple engineering-geological conditions within the considered construction sites. They can be called simple in those cases when preliminary work on engineering preparation of construction is carried out. The necessity of such work on construction sites is caused by objective engineering-geological factors: steep slopes of the base surface, high seismicity of construction sites, distribution of specific types of soils, presence of underground water at a shallow depth and its aggressiveness towards reinforced concrete structures, etc. (Fig. 1, 2). Many investment-attractive construction sites classified as unfavourable for construction cause a certain negative outlook for urban development investments on the part of private investors.

Currently, according to the current CP 47.13330.2016 “Engineering Surveys for Construction”, for construction sites (territories) for the erection of buildings there is a provision (mandatory under the CP) on the categories of complexity of engineering-geological conditions. In this case, the performers are offered to consider three categories of engineering-geological conditions for the construction of building foundations: simple (1st), medium (2nd) and complex (3rd).

The conducted studies of the suitability of the considered sites in the south of Russia for the construction of buildings show that most of them meet the requirements of the complexity categories of engineering-geological conditions of construction (SP 47.13330.2016). However, in the practice of construction of civil buildings (especially multi-storey and high-rise buildings) there are

|  |                                                                                                                                                            |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Method of foundation calculation and design based on the results of the study of interaction parameters with the soil of single piles and piles in a group |
|  | Method of calculation and design of pile foundations using an intermediate spreading layer                                                                 |
|  | Method of regulating uneven settlement of foundations by increasing their spatial stiffness                                                                |
|  | A method of designing foundations with regard to their adaptation to variable terrain surface                                                              |
|  | Method of foundation construction considering the sequence of permanent and temporary expansion joints                                                     |
|  | Method of foundation construction with a given sequence of inclusion of elements in joint work                                                             |

Fig. 5. Classification of methods for calculation and design of foundations of multi-storey buildings in particularly complex construction conditions



**Fig. 6.** Map-scheme of Sochi with reference to the developed methods of foundation construction in especially difficult engineering and geological conditions (applied to the implemented multi-storey and high-rise buildings)

cases (Fig. 3, 4), when engineering-geological conditions (according to the requirements of SP 47.13330.2016) do not meet the 3rd category of complexity and the existing classification needs to be improved.

## RESULTS

The authors proposed the category of complexity of engineering-geological conditions — especially complex (Table).

The category of especially complex is understood as a combination of three or more factors: high design seismicity of the construction site; irregular alternation of foundation layers with their significant heterogeneity in terms of soil properties in plan and depth; risk of landslide and gravitational processes development; significant difference of relief marks within the construction site; relief slopes in two directions.

The authors, under the guidance of Doctor of Technical Sciences M.B. Marinichev, prepared a classification of methods for calculation and design of foundations of multi-storey buildings in particularly complex construction conditions, when several factors (usually three or more) act simultaneously, presented in Fig. 5. Depending on the set of external influences and initial engineering and geological conditions, one of the developed directions

of foundation construction is chosen when implementing projects of high-rise or unique buildings [20–22].

Based on the results of the conducted research, a scheme demonstrating the implementation of the developed methods in the practice of foundation construction of multi-storey buildings in particularly difficult construction conditions in Sochi was drawn up (Fig. 6).

## CONCLUSION

The results of research of dangerous engineering-geological processes and information about their distribution in the south of Russia are given; generalization of engineering-geological and hydrogeological peculiarities of construction sites in the south of Russia, characterized as difficult for the construction of multi-storey and high-rise buildings, is carried out; a particularly difficult category of engineering-geological conditions for the construction of civil buildings is proposed, which can be regarded as promising for introduction into regulatory documents. Taking into account the proposed category of engineering-geological conditions, the classification of methods of calculation and design of foundations of multi-storey buildings in especially complex construction conditions is developed and their practical implementation is presented.

## REFERENCES

1. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B., Khalimova L.A. The peculiar features of planning the urban housing development taking into account soil conditions at construction sites. *Industrial and Civil Engineering*. 2006; 4:57-58. EDN HTCQYB. (rus.).
2. Marinichev M.B. *Compensation for uneven compressibility of the foundation by the rigidity of the foundation (using the example of soil conditions in Krasnodar and the region) : abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences*. Volgograd, 2004; 24. EDN ZMUMZZ. (rus.).



3. Ilyichev V.A., Mangushev R.A. Geotechnician's Handbook. *Foundations, foundations and underground structures*. Moscow, ASV Publishing House, 2014. (rus.).
4. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. Pile foundations: Experimental investigations, analysis and design. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2005; 16(1):177-213.
5. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Interaction of long piles with the surrounding soil, taking into account non-linear and rheological properties in high-rise construction. *100+ Forum Russia 2019*. 2019.
6. Marinichev M.B., Tkachev G. Foundations design and construction for high-rise buildings in seismic areas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 918(1):012020. DOI: 10.1088/1757-899x/918/1/012020
7. Marinichev M.B. Geotechnical solutions for high-rise construction in the areas with significant elevation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 913(4):042007. DOI: 10.1088/1757-899x/913/4/042007
8. Marinichev M.B. *Study of the work of drilled hanging piles as part of the foundations of multi-story and high-rise buildings : monograph*. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug LLC, 2022; 155. EDN CCMSVB. (rus.).
9. Langroudi G., Marseh B.P., Heidarpour B., Ekramirad A., Hosseinneshad A. Dimensional optimization of piled raft foundation. *Research Journal of Recent Sciences*. 2015; 4(4):28-31.
10. Randolph M.F. *Design of piled raft foundations*. 1983.
11. Varaksin S., Apageo. *Ground Improvement vs. Pile Foundations?* 2016.
12. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamensky V.V., Ponomarev A.B. Piles and pile foundations. *Structures, design and technology*. Moscow, ASV Publ., 2015. (rus.).
13. Padmanaban M.S., Sreerambabu J. Issues on design of piled raft foundation. *Journal of Advances in Chemistry*. 2018; 14(1):6057-6061. DOI: 10.24297/jac.v14i1.5905
14. Mohd A.M., Hussein M., Mallick J. Advances in piled-raft foundation system. *Recent Trends in Civil Engineering and Technology*. 2013.
15. Poulos H.G. Piled raft foundations: design and applications. *Geotechnique*. 2001; 51(2):95-113. DOI: 10.1680/geot.51.2.95.40292
16. Yamashita K., Hamada J., Yamada T. Field measurements on piled rafts with grid-form deep mixing walls on soft ground. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. 2011; 42(2):1-10.
17. Mets M., Musatova E. Determination of bearing capacity of piles by means of static and dynamic tests. International Scientific and Technical Conference: Geotechnics in Belarus: Science and Practice. *Proceedings of the International Conference*. 2013; 178-194.
18. Grigoryan A.A. Calculation of Pile Foundations in View of Solving Problems of Soil Mechanics. *International Scientific and Practical Conference on Problems of Soil Mechanics, Foundation Engineering and Transport Construction*. 2004; 200-205.
19. Katzenbach R., Arslan V., Moorman C. Numerical stimulations of combined piled raft foundations for the new high-rise building, max in Frankfurt am main. *Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering*. 2000.
20. Shadunts K.Sh., Marinichev M.B. Analysis of buildings and structures on complex nonuniformly compressible foundation beds. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2003; 40(2):42-47. DOI: 10.1023/a:1024432017557
21. Marinichev M. The influence of the shape of high-rise buildings on the design features and methods of making foundations in difficult soil conditions. *E3S Web of Conferences*. 2022; 363:02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202236302013
22. Polishchuk A.I., Marinichev M.B., Tkachev I.G. Evolution of the foundation design methods for multi-storey and high-rise buildings in seismic regions. *17th Asian Regional Conference on Geotechnical Engineering*. 2023.

Received September 10, 2024.

Adopted in revised form on September 10, 2024.

Approved for publication on September 20, 2024.

**BIONOTES:** **Anatoly I. Polishchuk** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Bases and Foundations; **Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KubSAU)**; 13 Kalinin st., Krasnodar region, Krasnodar, 350044, Russian Federation; ofpai@mail.ru;

**Maxim B. Marinichev** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Bases and Foundations; **Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KubSAU)**; 13 Kalinin st., Krasnodar region, Krasnodar, 350044, Russian Federation; marinichev@list.ru;

**Violetta O. Bushueva** — undergraduate student of the Department of Bases and Foundations; **Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KubSAU)**; 13 Kalinin st., Krasnodar region, Krasnodar, 350044, Russian Federation; bushueva.vita@mail.ru.

*Contribution of the authors:*

*Anatoly I. Polishchuk — scientific management of research, development and formulation of a special category of complexity of engineering and geological conditions of construction.*

*Maxim B. Marinichev — development of the structure of methods, scientific and technical support for the practical implementation of the developed methods, processing and analysis of the results obtained, development and formulation of a special category of complexity of engineering and geological conditions of construction.*

*Violetta O. Bushueva — participation in the processing of initial information and the results obtained, editing the text.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*