

## Экспериментальные данные по разуплотнению грунтов основания опытного котлована во времени

*И.М. Юдина, Д.С. Щербань, А.Р.Трошкина*

*Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** В статье приводятся экспериментальные данные по изменению напряженно-деформированного состояния грунтов основания опытного котлована. Исследования проводились в Московской области, протяженный котлован имел глубину 4 метра. Разработка котлована велась в основном в суглинках различной консистенции. В процессе эксперимента было установлено необходимое количество реперов, поверхностных марок и датчиков давления. Основными задачами полевых исследований явилось получение данных об изменении природного напряженного состояния в результате откопки котлована во времени, о закономерностях деформирования грунтов по глубине основания и бортов котлована и соответственно о развитии активной зоны перераспределения начальных напряжений. Получены и проанализированы результаты деформаций дневной поверхности котлована, исследован характер изменения деформаций по глубине основания котлована. Поскольку исследования продолжались в течение 2,5 месяцев, были сделаны необходимые выводы об особенностях развития деформаций котлована во времени.

**Ключевые слова:** Котлован, экспериментальные исследования, закономерности деформирования, напряженное состояние, активная зона.

Полевые экспериментальные исследования, проведенные в опытном котловане в Московской области, посвящены прогнозу величин разуплотнения грунтов оснований котлованов во времени [1-3].

В геологическом отношении грунты, слагающие основание и борта опытного котлована, в целом, однородны по составу. В верхней части до глубины 1-2 м они представлены пластичными супесями, подстилаемыми мощной толщей суглинков различной консистенции от полутвердой до мягкопластичной, с большим количеством включений песчаных линз. Грунтовые воды в пределах исследуемых глубин (до 12м) не обнаружены. Разработка котлована и наблюдения за измерительными приборами проводились с октября по декабрь месяцы. Котлован имел размеры в плане 30х4м и глубину 4м. В средней части котлована по трем поперечным сечениям были установлены глубинные реперы и поверхностные марки (рис. 1). Глубинные реперы устанавливались при помощи буровой машины с тщательным соблюдением

---

технологии и высокой точностью. Всего было установлено 21 репер и 6 поверхностных марок (рис. 2). На месте будущего котлована марки были разборными, что позволяло вести откопку котлована. После установки реперы нивелировались с помощью высокоточных нивелиров для определения надежности их установки. Глубинные реперы и поверхностные марки разработаны и установлены сотрудниками кафедры МГГ НИУ МГСУ.

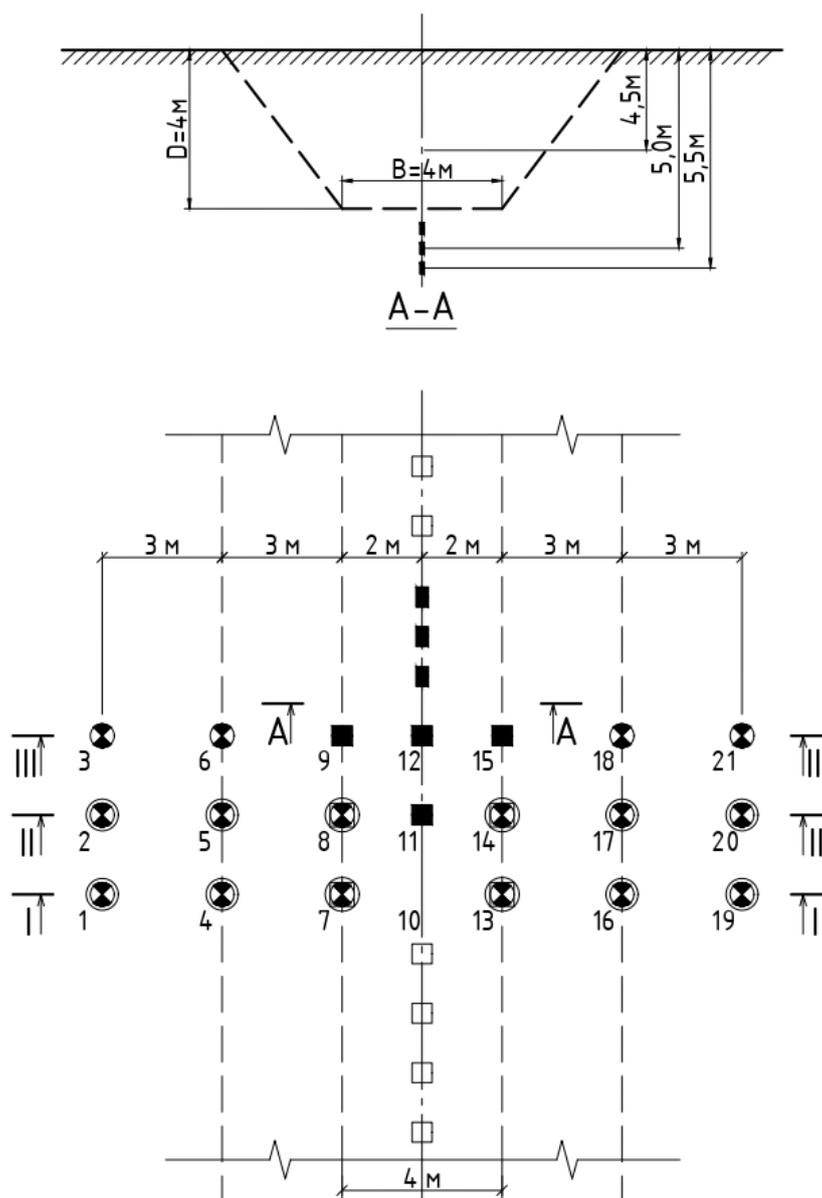


Рис.1. - Схема расположения измерительных элементов в опытном котловане. Условные обозначения:  - глубинные реперы постоянные,

■ - глубинные реперы разборные, □ - поверхностные марки, ○ - обсадные марки, ■ - измерительные элементы

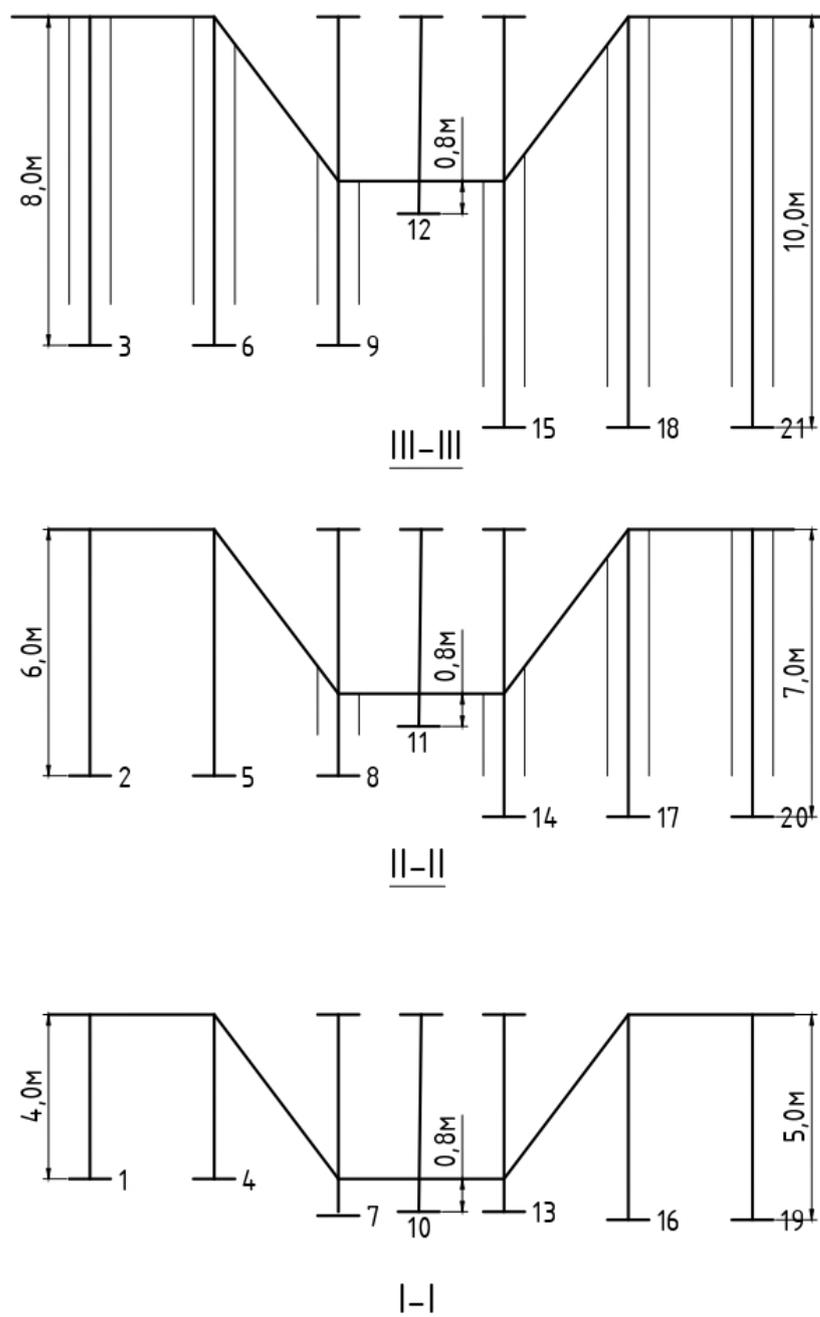


Рис.2. - Разрезы по опытному котловану

Для наблюдения за изменением природных напряжений вследствие выемки грунта в средней части котлована на глубинах 4,5м, 5,0м и 5,5м от поверхности площадки были установлены датчики давления.

Для установки датчика в грунт пробуривались скважины на глубину, меньшую на один метр, чем глубина заложения датчика, а затем датчик с помощью той же буровой машины вдавливался до заданной отметки с последующим тампонированием скважины местным грунтом. Снятие показаний датчиков осуществлялось с использованием измерителя статических деформаций. Величина горизонтального нормального напряжений, фиксируемого датчиком, складывается из природного давления упругого отпора и концентрации напряжений, обусловленной внедрением в массив датчика и изменением вокруг него плотности грунта.

После 2-х недельного наблюдения за марками и датчиками давления началась разработка котлована. Измерения вертикальных перемещений в грунте велись в течение двух месяцев после откопки котлована. На рис. 3, 4,5, 6 представлены результаты наблюдений за перемещением марок.

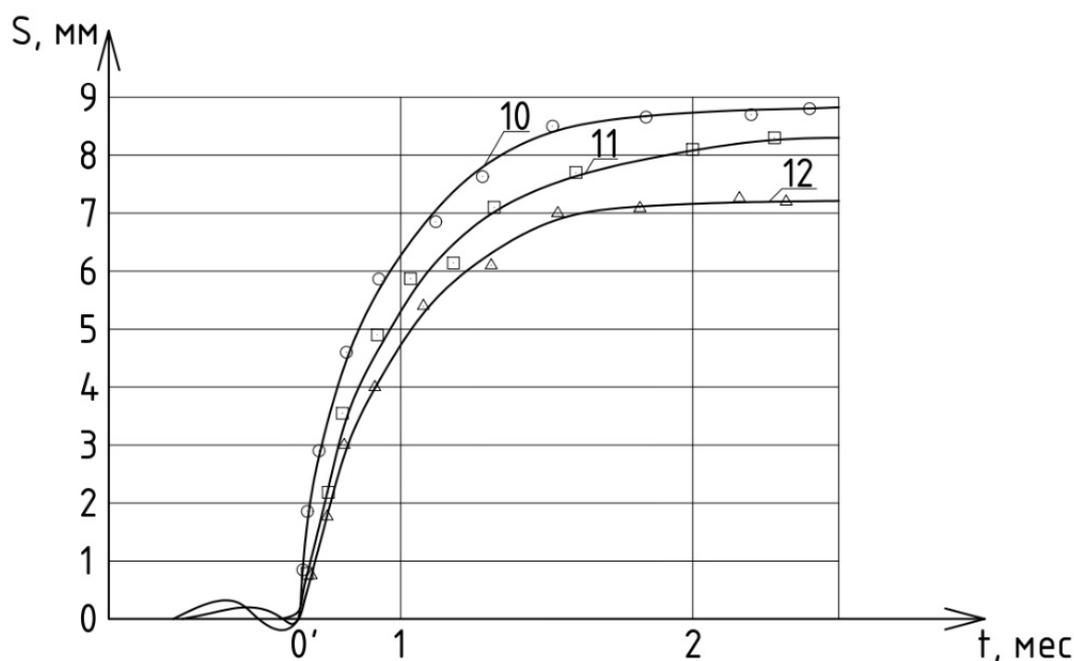


Рис.3. - Перемещение центральных глубинных реперов 10,11,12, расположенных на 80 см ниже отметки дна котлована (0' - начало разработки котлована)

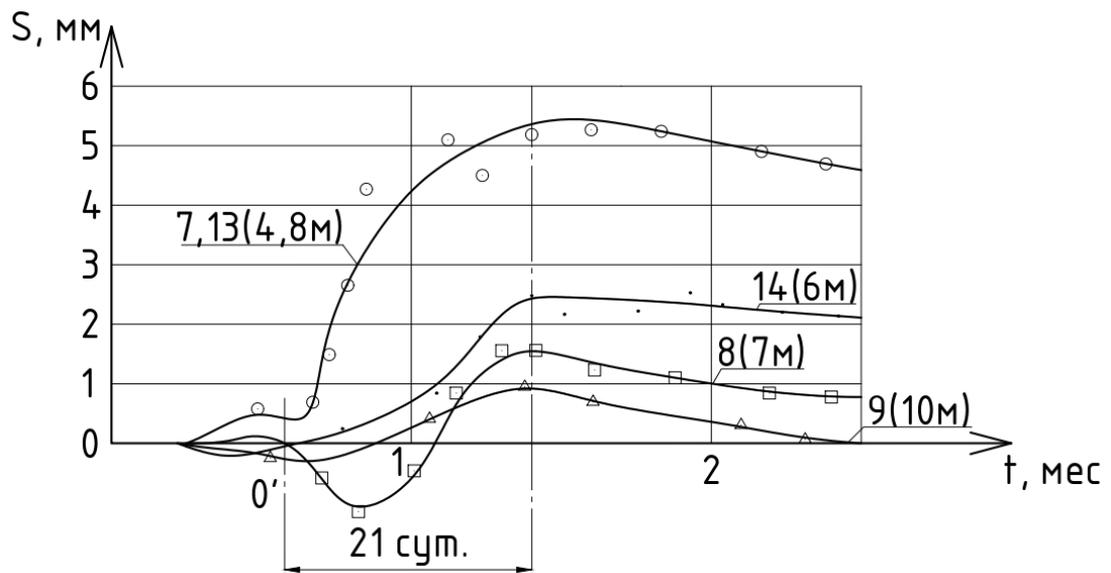


Рис.4. - Перемещение глубинных реперов 7,8,9,13,14, расположенных под угловыми точками котлована (0' - начало разработки котлована)

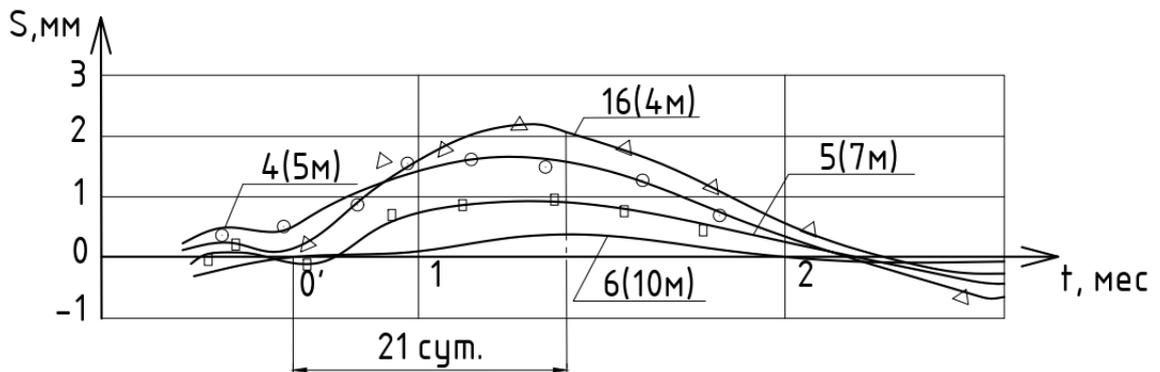


Рис.5. - Перемещения глубинных реперов 4,5,6,16, расположенных на расстоянии 5м от оси котлована (0' - начало разработки котлована)

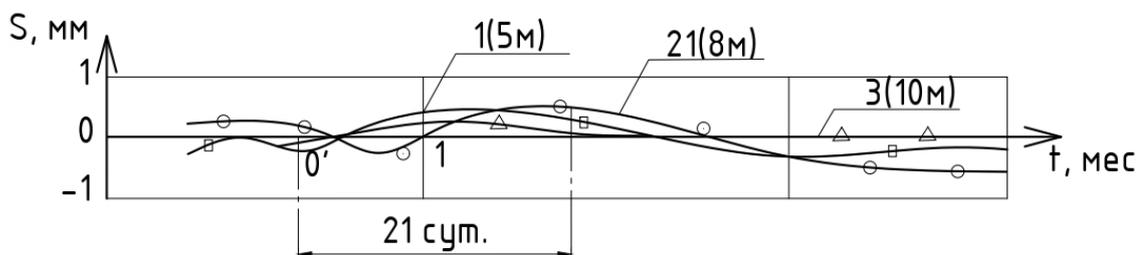


Рис.6. - Перемещения глубинных реперов 1,3,21, расположенных на расстоянии 8м от оси котлована (0' - начало разработки котлована)

На графиках можно отчетливо видеть три участка: фазу чередования подъемов и опусканий, фазу быстрого подъема и фазу стабилизации деформаций. Подобный характер изменения перемещений грунта можно объяснить следующим образом. До откопки котлована вертикальные перемещения грунта обуславливались действием природно-климатических факторов (атмосферное давление и осадки), поэтому они имели знакопеременный характер и незначительные величины, составляющие 0,01-0,15 мм. После откопки котлована происходит резкий подъем дна котлована в течение нескольких суток (21 сутки). Далее деформации грунта в центральной части котлована проходили с очень незначительной скоростью 0,03 мм/сутки.

В остальных областях подъем свободной поверхности котлована прекратился и в результате перераспределения напряженного состояния на бровке котлована были зафиксированы незначительные обратные деформации грунта.

Через 2,5 месяца наблюдений за перемещениями глубинных и поверхностных марок сложилась следующая картина изменения свободной поверхности опытного котлована (рис.7).

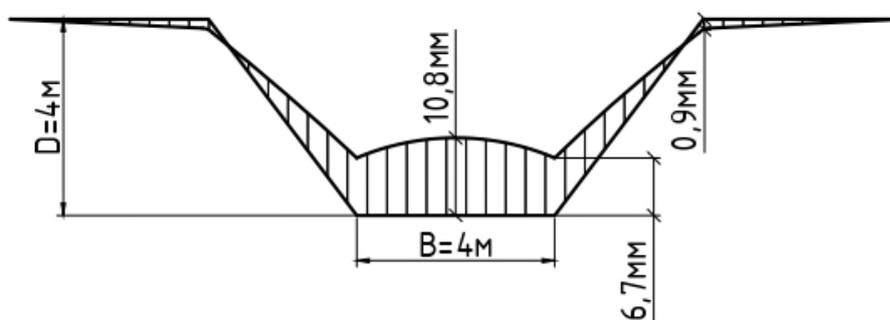


Рис.7. - Изменение границы котлована через 2,5 месяца после его откопки  
В центральной части подъем дна в среднем составил 10,8мм, в угловых точках — 6,7 мм, бровка котлована опустилась на 0,9мм. Глубина активной

зоны перераспределения напряжений составила 6 метров от поверхности дна котлована. (рис.8).

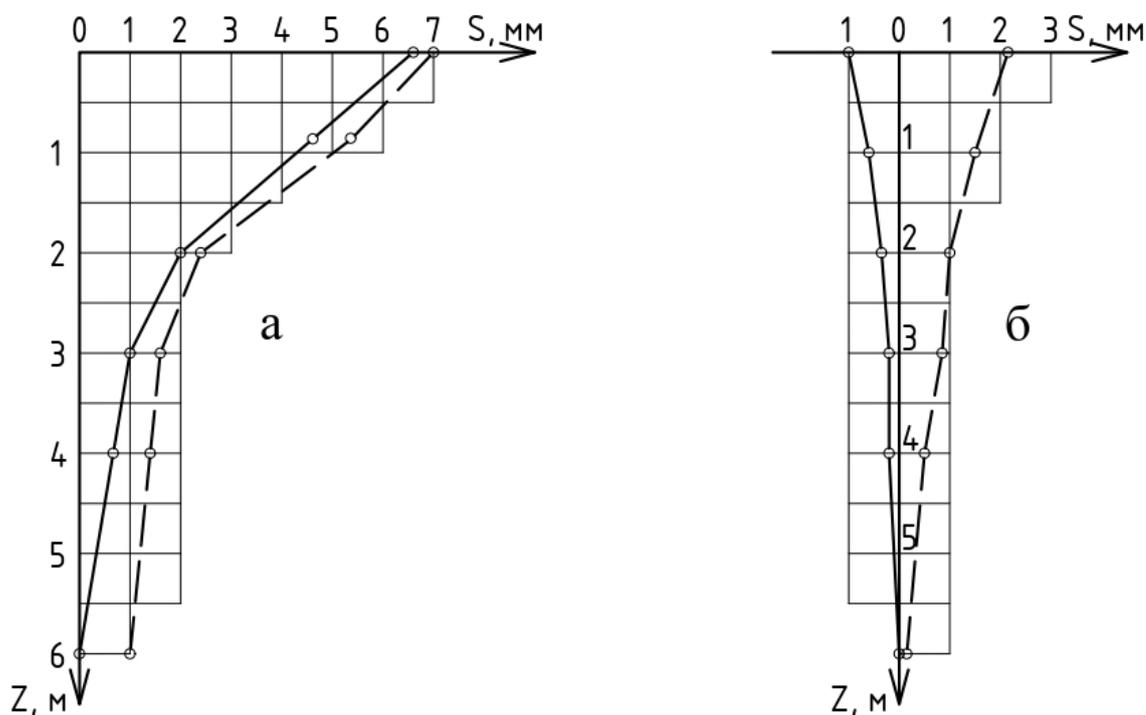


Рис. 8. - Деформации грунтов основания опытного котлована по глубине:  
а - под угловыми точками котлована, б - под бровкой котлована.

————  $t=0,7$  мес.    - - - -  $t=2,5$  мес.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволили сделать следующие выводы.

- Глубина зоны разуплотнения грунтов основания котлована ограничивается условием равенства дополнительных напряжений разуплотнения 35% от значений природных напряжений. В пределах этих глубин происходит значительное перераспределение напряженно-деформированного состояния грунтов, которое необходимо учитывать при определении расчетных механических характеристик грунта, особенно для глубоких котлованов (более 5 метров) [4-7].

- Процесс развития деформаций разуплотнения во времени наиболее интенсивно происходит в начальный период после откопки котлована (так для опытного котлована это время составило три недели), затем происходит стабилизация деформаций разуплотнения. Этот вывод особенно важен для котлованов, которые определенное время находятся в открытом состоянии, что приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния грунтов основания котлованов [8-10].

Перечисленные факторы необходимо учитывать при дальнейшем расчете деформаций сооружений, для которых устраивается строительный котлован.

### Литература

1. Тер-Мартirosян З.Г., Кяттов Н.Х., Сидорчук В.Ф. Экспериментальные и теоретические основы определения напряженного состояния грунтов естественного сложения. Инженерная геология. 1984. №3. С. 13-25.
2. Юдина И.М. Разуплотнение грунтов оснований котлованов и его учет при прогнозе осадок сооружений. Дис. канд. техн. наук. М., 1989. 191с.
3. Borsaru I., Bally R.I. Survey of Ground Decompression at a Large Excavation at the Danube. 8 Eur. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. Sept.. Germany. Vol.1. 1986. p. 63-65.
4. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла. // Инженерный вестник Дона, 2013. №4.- URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
5. Шебуняев А.Н., Юдина И.М. Расчет напряженно-деформированного состояния основания в области карстового провала. // Инженерный вестник Дона, 2019. №1.- URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5637.

6. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика // Под ред. Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г. М. Стройиздат. 1985. 479с.

7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения // Под общей ред. Ильичева В.А. и Мангушева Р.А. М. Изд-во АСВ. 2016. 1040с.

8. Yudina I. Analytical method of forecasting the settlement of water-saturated soils over time. IPICSE-2018, URL: doi.org/10.1051/mateconf/201825104030.

9. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах // Под общей ред. Мангушева Р.А. М., СПб. Изд-во АСВ. 2013. 256с.

10. Освоение подземного пространства городов // Под общей ред. Шулятьева О.А. М. Изд-во АСВ. 2017. 510с.

### References

1. Ter-Martirosyan Z.G., Kyatov N.KH., Sidorchuk V.F. Inzhenernaya geologiya. 1984. №3. pp. 13-25.

2. Yudina I.M. Razuplotneniye gruntov osnovaniy kotlovanov i yego uchet pri prognoze osadok sooruzheniy. [Ground decompression of the excavation pits and its consideration at the forecasting the settlement of the structures]. Dis. kand. tekhn. nauk. M. 1989. 191p.

3. Borsaru I., Bally R.I. Survey of Ground Decompression at a Large Excavation at the Danube. 8 Eur. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. Sept.. Germany. Vol.1. 1986. p. 63-65.

4. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.



5. Shebunyayev A.N., Yudina I.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5637](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5637).

6. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya. Spravochnik proyektirovshchika. [Baze, foundations and underground structures. Designer Reference]. Pod red. Sorochana Ye.A. i Trofimenkova YU.G. M. Stroyizdat. 1985. 479p.

7. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya [Geotechnical Reference. Baze, foundations and underground structures]. Pod obshchey red. Il'icheva V.A. i Mangusheva R.A. M. Izdatel'stvo ASV. 2016. 1040p.

8. Yudina I.M. IPICSE 2018. URL: [doi.org/10.1051/mateconf/201825104030](https://doi.org/10.1051/mateconf/201825104030)

9. Proyektirovaniye i ustroystvo podzemnykh sooruzheniy v otkrytykh kotlovanakh. [Design and installation of underground structures in excavation pits]. Pod obshchey red. Mangusheva R.A. M., SPb. Izdatel'stvo ASV. 2013. 256p.

10. Osvoyeniye podzemnogo prostranstva gorodov. Pod obshchey red. Shulyat'yeva O.A. [Development of the underground space of cities]. M. Izdatel'stvo ASV. 2017. 510p.