



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-346-353

УДК 504.5.06

## Геозэкологические аспекты гражданского строительства на песках

Т.И. Аверкина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
*Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1*

Гражданское строительство часто осуществляется на песках, которые широко распространены в верхней части геологического разреза. Эти грунты обычно служат надежным основанием инженерных сооружений, но при определенных условиях могут вызывать серьезные осложнения и даже создавать угрозу безопасности жизнедеятельности. Анализ и обобщение существующего опыта строительства позволяет выделить три группы проблем, которые необходимо своевременно выявлять и устранять. Больше всего проблем связано с водоносными песками. Водопритоки, прорывы напорных вод и пьезунов — очень распространенные явления, затрудняющие проходку строительных котлованов и устройство подземных сооружений. Для защиты от подземных вод часто применяют водопонижение, которое в условиях плотной городской застройки может нарушить устойчивость окружающих зданий. Вторая группа проблем связана с процессом суффозии. Наиболее опасным его проявлением являются суффозионные провалы, приводящие к аварийным ситуациям, а иногда и к разрушению сооружений. Третья группа проблем обусловлена специфической реакцией песков на динамические воздействия, в частности разжижением водонасыщенных песчаных грунтов. Последствия такой реакции могут быть очень серьезными: погружение сооружения в грунт, выпор свай или мостовых опор, всплытие подземных емкостей, выпор разжиженных грунтов из-под фундамента вплоть до образования крена или опрокидывания сооружения.

**Ключевые слова:** гражданское строительство, пески, водоносные пески, суффозия, разжижение песков, инженерная защита

### Введение

В гражданском строительстве последних лет можно отметить несколько общих тенденций. Прежде всего, наблюдается увеличение этажности надземных и подземных частей зданий, то есть города «растут вверх и вниз». Широко используются различные виды свайных фундаментов, а также методы улучшения свойств и искусственного закрепления грунтов. Из-за ограниченности свободного пространства в городах многие новые объекты приходится возводить в условиях плотной застройки, а это может причинить вред окружающим сооружениям. С другой стороны, под новостройки стали отводить земли, ранее считавшиеся неудобными или даже непригодными для строительства — поймы рек, склоны, подрабо-

© Аверкина Т.И., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

тантные территории и т.д. В таких условиях требуются специальная дорогостоящая предварительная подготовка строительных площадок и мероприятия по инженерной защите объектов.

На наиболее освоенных равнинных территориях гражданское строительство очень часто осуществляется на песках. Они широко распространены в верхней части геологического разреза и в большинстве случаев выступают как достаточно надежные основания инженерных сооружений. Однако даже такие грунты при определенных условиях могут создавать серьезные проблемы и осложнения, которые необходимо знать и учитывать для обеспечения рационального природопользования.

### **Проблемы, связанные с водоносными песками**

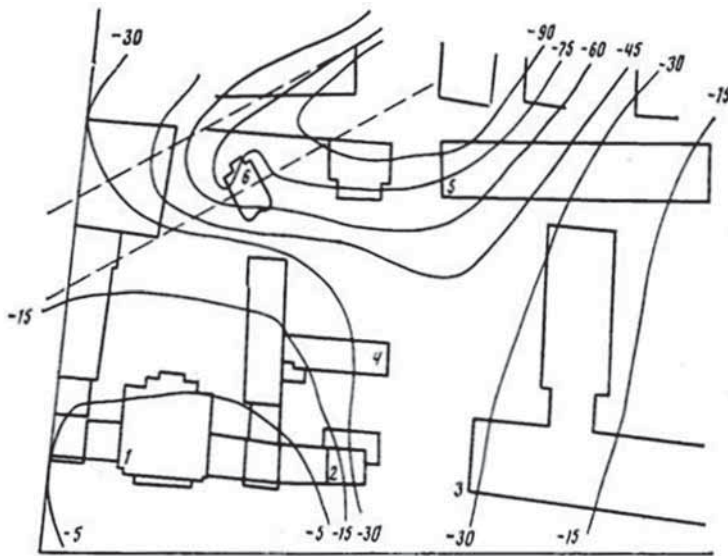
Самые распространенные явления, связанные с водоносными песками, — водопритоки, прорывы напорных вод и пльвунов, которые затрудняют проходку котлованов и строительство подземных сооружений. Для защиты от подземных вод применяют водопонижение, устройство противодиффузионных завес или комбинацию этих методов.

*Водопонижение* осуществляется с помощью открытого водоотлива или глубинного водопонижения. В условиях плотной городской застройки обезвоживание массивов не всегда удается провести без ущерба для близлежащих зданий и сооружений. Так, в Москве в 1930-е годы при строительстве первых линий метро туннели проходили открытым способом под защитой контурного дренажа, и это в ряде случаев негативно сказалось на окружающей застройке. Например, в долине р. Неглинки осушение толщи аллювиальных песков вызвало их уплотнение, сопровождавшееся неравномерной осадкой и повреждением некоторых зданий исторического центра, в том числе Большого и Малого театров. Деформация последнего была столь существенна, что даже поднимался вопрос о его сносе.

В 1980-е годы, когда в центре столицы вели работы по строительству станции метро «Боровицкая», этот негативный опыт пытались учесть, и проходку наклонного эскалаторного туннеля осуществляли под защитой замораживания. Однако это лишь частично облегчило ситуацию. Кроме туннеля был вырыт котлован глубиной 10 м для наземного павильона, соорудили новый наземный вестибюль станции «Библиотека имени Ленина» и подземный переход от станции «Боровицкая» к станции «Арбатская», создавалась система траншей для подводки сетей и коммуникаций. В результате проведения этих масштабных мероприятий избежать деформации существующих сооружений не удалось.

Строительные работы потребовали откачки подземных вод из четвертичного, ратмировского и перхуровского водоносных горизонтов, для чего были пробурены 36 водозаборных скважин. Суммарный объем воды, отобранной из ратмировского горизонта с февраля 1982 по июнь 1985 г., составил 5,6 млн м<sup>3</sup>, из перхуровского — 3,0 млн м<sup>3</sup>, из четвертичных отложений — 7,1 млн м<sup>3</sup>. Откачка воды продолжалась до апреля 1986 г. [1]. Проведенные работы спровоцировали осадку поверхности и деформацию почти всех зданий Государственной библиотеки имени В.И. Ленина (ГБЛ) и исторической застройки в районе улицы Волхонки (рис. 1). Появились трещины в несущих конструкциях шириной от нескольких

миллиметров до нескольких сантиметров, наблюдались отколы бетона консолей и концов балок, перекосы оконных переплетов, растрескивание и выпадение стекол. Особенно сильно пострадало книгохранилище, здание типографии пришлось взять в каркас. Потребовалось провести большой объем ремонтных и восстановительных работ.



**Рис. 1.** Карта суммарной осадки реперов (мм) на территории ГБЛ в феврале 1982 — июле 1986 гг. [1]: ширина зоны осадок — 190 м; максимальная величина осадки реперов — 122 мм;

максимальная скорость — 11 мм/мес; 1 — Дом Пашкова; 2 — северный флигель Дома Пашкова;

3 — корпус ГБЛ; 4 — здание типографии; 5 — корпус ГБЛ; 6 — Храм святителя Николая Мирликийского

[Figure 1. A map of the total subsidence of reference marks (mm) on the territory of GBL in February 1982 — July 1986 [1]:

wideness of the subsidence zone — 190 m; maximum of the subsidence of reference marks — 122 mm;

maximum speed is 11 mm/month; 1 — the Pashkov House; 2 — north wing of the Pashkov House;

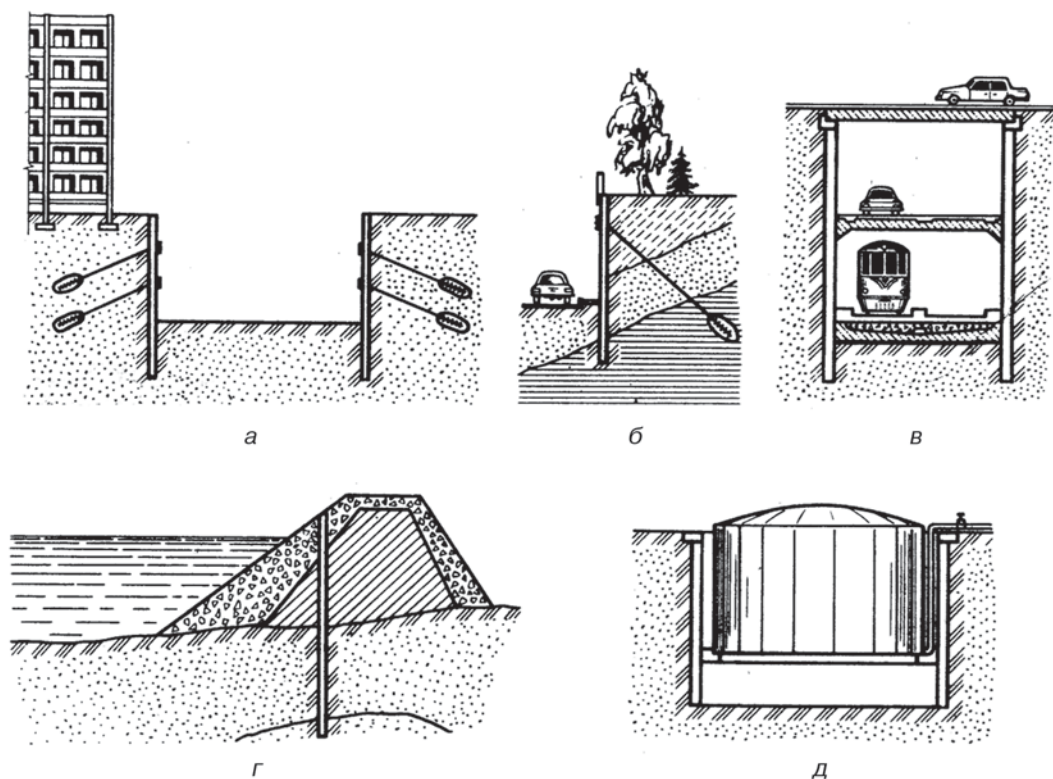
3 — campus building of the Lenin State Library; 4 — building of the printing-office;

5 — campus building of the Lenin State Library; 6 — Church of St. Nicholas]

Для защиты глубоких котлованов и подземных сооружений от водопритоков вместо глубинного водоотлива довольно широко используют уже упоминаемый метод *искусственного замораживания грунтов*. Однако и в этом случае могут возникать осложнения. Главным образом они связаны с неравномерными осадками при промораживании и последующем оттаивании массивов. Например, в Санкт-Петербурге после окончания строительства некоторых станций метро и оттаивания замороженных грунтов были зафиксированы случаи, когда пришлось разбирать или восстанавливать многие аварийные дома — в окрестностях станций «Невский проспект», «Маяковская», «Василеостровская», «Площадь мира» и др. Пострадали и памятники архитектуры — здания Адмиралтейства (в продольных стенах образовались зияющие трещины), здание бывшей городской Думы возле станции «Гостинный двор», Собор Александро-Невской лавры (трещины в куполе) [2].

Очень интересен опыт строительства высотного здания у Красных ворот в Москве. Основание этого здания имеет следующий разрез (сверху вниз): 1) флювиогляциальные пески мощностью 10—11 м с модулем деформации  $E = 11—13$  МПа;

2) глинистые пески волжского яруса с  $E = 11$  МПа; 3) юрские глины мощностью 6–7 м с  $E = 15$  МПа; 4) прочные каменноугольные известняки. Когда велось строительство высотки, под ней под защитой замораживания осуществлялась проходка наклонного эскалаторного туннеля станции метро «Красные ворота». Была угроза того, что после оттаивания замороженных грунтов может произойти неравномерная осадка здания, выстроенного в форме буквы «П», и, что особенно опасно, закроются осадочные швы между отдельными его корпусами. Чтобы этого избежать, было принято смелое решение — построить здание с небольшим наклоном, чтобы после оттаивания грунтов оно приняло вертикальное положение. Расчет себя оправдал. Наблюдения показали, что сначала (при промораживании) произошло выпучивание дна котлована на 5 см, затем была отмечена неравномерная осадка с разностью в 8 см (от 9,5 до 17,5 см), а потом здание выровнялось. При этом конечная осадка оказалась значительно меньше расчетной — 13,4 см вместо 28 см [2].



**Рис. 2.** Конструкции, сооружаемые способом «стена в грунте» [3]:  
а — котлованы в городских условиях; б — подпорные стенки; в — туннели;  
г — противодиффузионные диафрагмы; д — подземные резервуары

**[Figure 2.** Structures by soil mix wall method [3]:  
а — excavation pit in an urban setting; б — headwalls; в — tunnels;  
г — impervious diaphragm; д — underground reservoirs]

В последние годы широкое распространение получил способ защиты строительных объектов от подземных вод под названием «стена в грунте». Он используется при создании фундаментов под тяжелые сооружения, возведении подзем-

ных частей и конструкций промышленных и гражданских зданий и т.д. Заглубление стен в водоупорные грунты позволяет полностью отказаться от водоотлива, глубинного водопонижения и замораживания и дает возможность сравнительно безопасно создавать глубокие котлованы вблизи существующих строений, что особенно важно при строительстве в стесненных городских условиях. На рис. 2 приведены примеры некоторых конструкций, построенных с использованием стены в грунте.

### **Проблемы, связанные с процессом суффозии**

Наиболее опасным проявлением процесса суффозии, осложняющим строительство и эксплуатацию объектов, возведенных на песках, считаются суффозионные провалы. На обжитых территориях они чаще всего связаны с техногенными факторами — неудовлетворительным состоянием объектов инфраструктуры или грубыми нарушениями в процессе строительных работ. В разных городах отмечались аварийные ситуации, обусловленные развитием суффозии при утечках из водонесущих коммуникаций, инфильтрации из искусственных водотоков и водоемов, строительном водопонижении и т.д.

В Санкт-Петербурге в качестве одной из типичных причин деформации старых зданий В.М. Улицкий и А.Г. Шашкин называют разрушение деревянных элементов и суффозионное разуплотнение песков под подушкой фундаментов. Особенно часто такие явления наблюдаются в неоднородных насыпных грунтах, мощность которых достигает до 4—7 м, и пылеватых дельтовых песках на участках, где грунтовые воды гидравлически связаны с реками и каналами либо подпитываются утечками из коммуникаций. Установлено, что для дельтовых песков опасен гидравлический градиент, превышающий 0,1 [4]. Авторы описали несколько характерных аварийных ситуаций. Одна из них — строительство подземного перехода под площадью Труда (бывшей Благовещенской), расположенной в пойме р. Невы. Под техногенными грунтами мощностью 2—3 м здесь залегают дельтовые пески мелкие и пылеватые (5—6 м), ниже — мягкопластичные морские суглинки (12—16 м), под ними вскрываются тугопластичные моренные суглинки. Уровень грунтовых вод залегал на глубине 1,7 м от поверхности. Работа в котловане глубиной 5,8 м велась с открытым водоотливом и под защитой шпунтовой стенки (14 м), которая была выполнена не очень качественно и пропускала воду. За 4 года существования котлована вокруг него образовалась депрессионная воронка, в которую попали окружающие здания, грунтовые воды опустились ниже уровня воды в Неве и рядом расположенных каналах. За счет развившейся суффозии произошли дополнительные неравномерные осадки и появились трещины в несущих конструкциях у одного из прилегающих домов. Чтобы исправить ситуацию и завершить работы по строительству перехода, потребовались мероприятия инженерной защиты. Под фундаментом деформированной части старого здания провели закрепление разуплотненных песков методом цементации, а по контуру подземного перехода выполнили противофильтрационную завесу глубиной 10 м с врезанием в водоупорные мягкопластичные суглинки [4].



Существуют описания многочисленных случаев суффозионных провалов на территории Москвы. Один из них — провал, произошедший в 1998 г. при проходке коллекторного тоннеля и вызвавший разрушение двухэтажного дома на Большой Дмитровке. В ходе изыскательских работ была пропущена погребенная долина, заполненная водонасыщенными песками, в которую и «врезался» тоннель [5].

В пределах Москвы, помимо чисто суффозионных провалов, наблюдаются провалы другого типа — карстовые, но суффозия в их формировании тоже участвует. Карстовые провалы в столице происходят реже, чем собственно суффозионные, и, по мнению некоторых специалистов, интенсивность образования первых постепенно снижается, а вторых — столь же постоянно увеличивается [5].

### **Проблемы, связанные с реакцией песков на динамические воздействия**

Песчаные грунты обладают специфической реакцией на динамические воздействия, которая может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. Положительный эффект наблюдается, когда с помощью вибрационных и виброударных машин производится *уплотнение рыхлых песков* для повышения их несущей способности. Трамбовку выполняют при влажности, близкой к оптимальной, иногда проводится уплотнение подводными взрывами.

Опасной реакцией на динамические воздействия является *разжижение водонасыщенных песчано-пылеватых грунтов*. Его могут вызвать землетрясения, движущийся транспорт, взрывы при экскавациях, работа тяжелых машин, ветровые и волновые нагрузки и т.д. Последствия разжижения бывают очень серьезными [6]: 1) повреждение объектов за счет значительных неравномерных осадок; 2) погружение сооружения в разжиженный грунт по мере его уплотнения либо, наоборот, — всплытие трубопроводов или подземных емкостей с углеводородами, газами и т.п.; 3) частичный выпор свай или мостовых опор; 4) выпор разжиженных грунтов из-под фундамента вплоть до образования крена или даже опрокидывания сооружения; 5) разрушение насыпей; 6) смещение пород на склонах.

Еще один пример динамического воздействия на песчаные грунты — устройство *свайных фундаментов*, которые, как уже было отмечено, в настоящее время получили очень широкое распространение. В условиях плотной городской застройки забивка и вибропогружение свай могут вызвать опасное неравномерное уплотнение или, напротив, разжижение песков в основаниях близлежащих сооружений. В такой обстановке сваи либо вдавливают, либо ввинчивают. Опыт строительства в Санкт-Петербурге показал, забивать сваи можно только в пределах контура проектируемого сооружения, а устройство свайного поля в 20-метровой зоне вокруг здания должно выполняться только методом вдавливания [7]. Такие правила целесообразно соблюдать во время строительства и в других городах при аналогичных природных условиях.

### **Заключение**

Анализ и обобщение существующего опыта строительства показывает, что сложности и проблемы, возникающие при строительстве на песчаных грунтах,

связаны главным образом с тремя причинами: 1) водоносными горизонтами, приуроченными к пескам; 2) процессом суффозии; 3) реакцией песков на динамические воздействия. Чтобы эти проблемы не стали угрозой безопасности жизнедеятельности, необходимо их своевременно выявлять и предусматривать мероприятия по инженерной защите территорий и технических объектов.

### Список литературы

- [1] Вознесенский Е.А., Коваленко В.Г., Кушнарёва Е.С., Фуникова В.В. Разжижение грунтов при циклических нагрузках. М.: Изд-во МГУ, 2005.
- [2] Инженерная геология СССР. Платформенные регионы Европейской части СССР. Кн. 2. М.: Недра, 1991.
- [3] Подборская В.О. О причинах деформаций памятников архитектуры и зданий исторической застройки территории Государственной библиотеки СССР им. В.И. Ленина // Инженерная геология. 1988. № 1. С. 46—52.
- [4] Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. М.: АСВ, 1999.
- [5] Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: СтройИздат Северо-Запад, 2010.
- [6] Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 2007.
- [7] Хоменко В.П., Калашников М.А., Потанов И.А. Карстовые и суффозионные провалы в г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 158—162.

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 06.10.2018

Дата принятия к печати: 20.11.2018

### Для цитирования:

Аверкина Т.И. Геоэкологические аспекты гражданского строительства на песках // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 3. С. 346—353. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-346-353

### Сведения об авторе:

Аверкина Татьяна Ивановна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра инженерной и экологической геологии МГУ имени М.В. Ломоносова. Контактная информация: e-mail: averkinati@yandex.ru

## Geocological aspects of civil engineering on the sands

T.I. Averkina

Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

Civil structures are often built on sands, which are widespread in the upper part of the geological section. These soils usually serve as a reliable basis for engineering structures, but under certain conditions can cause large complications and even endanger the life safety. Analysis and generalization of the

construction experience allows us reduce three groups of problems that need to be identified and addressed timely. Most of the problems are related to water-bearing sands. Water flows, breakthrough of pressure water and quicksand are very common phenomena that complicate the excavation of construction pits and the device of underground structures. To protect against groundwater is often used dewatering, which can disrupt the stability of the surrounding buildings in high-density urban development. The second group of problems is related to the process of suffusion. The most dangerous of its manifestations are suffusion failures, leading to emergency situations and sometimes to the destruction of structures. The third group of problems is caused by specific reaction of sands to dynamic impacts, in particular, by liquefaction of water-saturated sandy soils. The consequences of such a reaction can be very serious: the immersion of the structure in the ground, the uplift of piles or bridge supports, the float up of underground tanks, the uplift of liquefied soils from under the foundation until the formation of a building tilt or overturning of the structure.

**Keywords:** civil engineering, sands, aquifer sands, suffusion, sand liquefaction, engineering protection

### References

- [1] Voznesensky EA, Kovalenko VG, Kushnareva ES, Funikova VV. *Soil liquefaction under cyclic loads*. Moscow: Publishing house of Moscow State University; 2005.
- [2] *Engineering Geology of the USSR. Platform regions of the European part of the USSR. Book 2*. Moscow: Nedra Publ.; 1991.
- [3] Podborskaya VO. On the causes of deformation of architectural monuments and buildings of historical development of the territory of the V.I. Lenin state library of the USSR. *Engineering Geology*. 1988: 46–52.
- [4] Ulitsky VM, Shashkin AG. *Geotechnical support of urban reconstruction*. Moscow: ACB Publ.; 1999.
- [5] Ulitsky VM, Shashkin AG, Shashkin KG. *Geotechnical support of urban development*. Saint Petersburg: StroyIzdat North-West Publ.; 2010.
- [6] Ukhov SB, Semenov VV, Znamensky VV, Ter-Martirosyan ZG, Chernyshev SN. *Soil mechanics and foundation engineering*. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 2007.
- [7] Khomenko VP, Kalashnikov MA, Potapov IA. Karst and suffusion holes in Moscow: features of engineering-geological surveys and forecasting. *Vestnik MGSU*. 2010;(4): 158–162.

### Article history:

Received: 06.10.2018

Revised: 20.11.2018

### For citation:

Averkina TI. Geocological aspects of civil engineering on the sands. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(3): 346–353. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-3-346-353

### Bio Note:

*Tatyana Ivanovna Averkina* — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering and Environmental Geology, Lomonosov Moscow State University. *Contact information:* e-mail: averkinati@yandex.ru