

УДК 556.3.06, 550.8.055

ПРОГНОЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРОДСКОГО КОЛЛЕКТОРА

¹Никифоров В.В., ²Диниус Я.И., ³Бахарева Н.С.

¹Горный институт Уральского отделения Российской академии наук,
Пермь, e-mail: Nikiforss@mail.ru;

²ООО «Научно-исследовательское, проектное, производственное предприятие
по природоохранной деятельности «Недра», Пермь, e-mail: nedra@nedra.perm.ru;

³Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, e-mail: kafedra.ingeo@gmail.com

Строительство подземных сооружений, связанное с откачкой грунтовых вод, изменяет гидрогеологический режим, который может активизировать суффозионные процессы, что приводит к снижению несущей способности грунта. Потеря несущей способности грунта вызывает деформацию сооружений, следствием которой являются аварийные ситуации объектов промышленности, в том числе с непосредственной опасностью для жизни людей. Активизация суффозионных процессов, за счет изменения гидрогеологических условий в г. Перми, является одной из причин, затрудняющих строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменение пластовых давлений вызывают изменение напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направления движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних и тех же условиях понижение уровней приводит к оседанию поверхности земли, а в других – к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями.

Ключевые слова: гидрогеология, водопонижение, осадка грунтовой толщи, суффозия, провал, пористость, модуль деформации

FORECAST OF SOILS SUPPORTING STRENGTH IN THE CONSTRUCTION OF THE CITY COLLECTOR

¹Nikiforov V.V., ²Dinius Y.I., ³Bahareva N.S.

¹Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Perm, e-mail: Nikiforss@mail.ru;

²Scientific, Research, Design and Production Enterprise for Nature Protection Activity, Ltd,
«Nedra», Perm, e-mail: nedra@nedra.perm.ru;

³Perm State National Research University, Perm, e-mail: nedra@nedra.perm.ru

Construction of underground structures associated with the pumping of groundwater, hydrogeological regime changes, which may intensify suffusion processes, resulting in reduced bearing capacity of the soil. Loss of bearing capacity of soil causes the deformation structures and lead to accidents of industrial facilities including immediate danger to human life. Activating suffusion processes, due to changes in the hydrogeological conditions in Perm is one of the reasons that impede the construction and operation of buildings and structures. Lowering the groundwater piezometric levels and changing reservoir pressures cause stress changes in rocks, speed, and sometimes the direction of groundwater flow, which increases the intensity of suffusion and karst processes. In the same conditions, lowering levels leads to subsidence of the ground surface, and the formation of other failures. The most widespread subsidence on those areas where groundwater enclosed in well permeable sandy-gravelly rocks with small compressibility, which are interbedded with clay poorly permeable, but well compressible deposits.

Keywords: hydrogeology, water depression, cone of influence, earth cover absorbing, suffusion, sink, poriness, modulus of deformation

Строительство подземных сооружений, связанное с откачкой грунтовых вод, изменяет гидрогеологический режим, который может активизировать суффозионные процессы, что приводит к снижению несущей способности грунта. Потеря несущей способности грунта вызывает деформацию сооружений, следствием которых являются аварийные ситуации объектов промышленности, в том числе с непосредственной опасностью для жизни людей [3, 4, 5].

Типичным примером активизации суффозионных процессов на территории г. Перми являются провалы над водонесущими

коммуникациями. Так, в апреле 2013 г. на ул. Встречной 35 а произошел провал асфальтовой дороги на канализационном коллекторе $D = 1200$ мм, размерами 8×5 м, глубиной 1,1 м. В результате, оказалось невозможным движение транспорта (рис. 1).

В июне 2013 г. на территории г. Перми произошел еще один провал асфальтовой дороги, на ул. Пушкина, между ул. Куйбышева и ул. Попова, диаметром 2,0 м и глубиной 1,0 м. Причиной провала стало обрушение свода на самотечном железобетонном коллекторе. Труба коллектора, 1970 г. постройки готовилась к замене (рис. 2).



Рис. 1. Провал асфальтовой дороги при активизации суффозионных процессов



Рис. 2. Провал асфальтовой дороги

Активизация суффозионных процессов, за счет изменения гидрогеологических условий в г. Перми, является одной из причин, затрудняющих строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменение пластовых давлений вызывают изменение напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направления движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних и тех же условиях понижение уровней приводит к оседанию поверхности земли, а в других – к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта, приводит к уплотнению сжимаемых отложений и, как следствие, к оседанию земной поверхности [2, 8].

В работе приведена методика оценки возможных изменений не с точки зрения определения суффозионного выноса, а

с точки зрения изменения деформационных свойств грунтов и несущей способности фундамента зданий, расположенных в г. Перми. Здание представляет собой рамную конструкцию, наружные стены которой опираются на сваи-стойки, а внутренние колонны на ростверк, смонтированный на кустах свай трения более чем 10-метровой длины. Полы здания выполнены по грунтовому основанию, с песчано-гравийной подготовкой мощностью до 3 м. В течение последних 6 месяцев эксплуатации полы здания испытывали деформации, осадка пола по результатам нивелировки составила местами от 19 до 24 см. В качестве вероятной причины был рассмотрен вариант, при котором появление деформаций полов здания было связано с проявлением осадки грунтового основания, сложенного в основном насыпными грунтами значительной мощности и водонасыщенными глинистыми грунтами от мягкопластичной до текучепластичной и текучей консистенции, а также линзами песка, супеси и гравийным грунтом. На рис. 3 представлена литологическая колонка с указанием расположения свай в толще грунта.

В рассмотренном нами случае рядом с уже существующим зданием был отрыт

опускной колодец глубиной около 25 м, необходимый для прокладки городского коллектора, были проведены мероприятия по понижению уровня подземных вод в ходе строительства, в результате чего уровень подземных вод был существенно снижен, из-за чего сформировалась депрессионная воронка.

Намного сложнее обстоит дело с обнаружением подземных суффозионных проявлений. Ведущая роль здесь принадлежит геофизическим исследованиям, причем для данной цели вполне приемлем арсенал средств, используемых в инженерном карстоведении [7]. Перспективно также применение динамического и особенно статического зондирования для поиска зон разуплотнения, полостей, погребенных провалов и замкнутых понижений в кровле скальных пород [1].

Совместный анализ геологических, сейсмо- и электроразведочных данных показал, что в основании сооружения залегают супеси пылеватые, которые можно отнести к суффозионным грунтам.

В данной обстановке водопонижение приводит к образованию нисходящего фильтрационного потока, который вымывает пылеватые и песчаные частицы по гравийному грунту. Результатом является их закрытое (внутреннее) фильтрационное разрушение, сопровождающееся разуплотнением грунтов в зоне депрессионной воронки. На рис. 4 представлена схема понижения уровня подземных вод и активизация суффозионных процессов.

Понижение уровня подземных вод, а также суффозионный вынос привели к изменению пористости, показателя текучести, а также модуля деформации грунтов основания. В табл. 1 представлена оценка

изменения пористости и модуля деформации до и после техногенного воздействия на массив грунта.

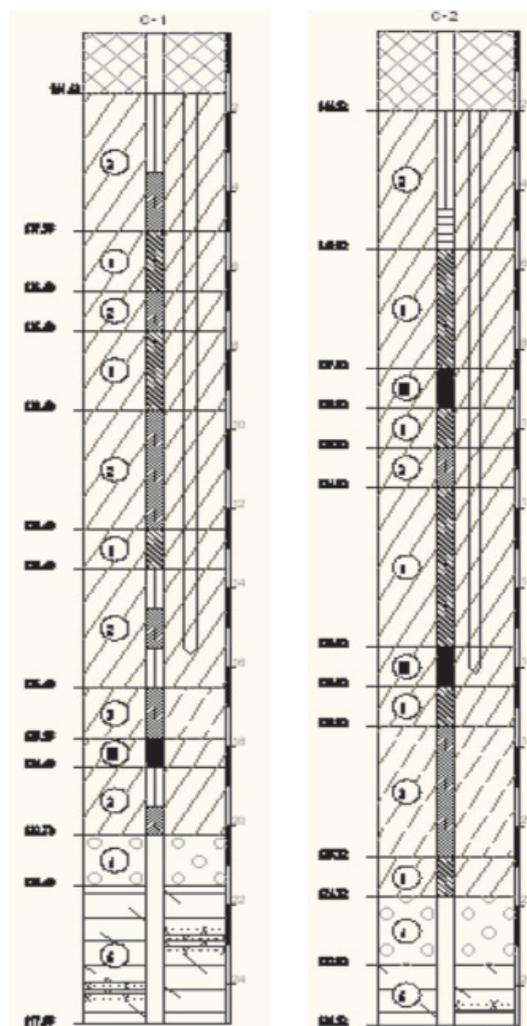


Рис. 3. Литологические колонки скважин с указанием места размещения свай

Таблица 1

Изменение пористости и модуля деформации в результате техногенного воздействия

№ ИГЭ	Коэффициент пористости, e		Модуль деформации, E, МПа	
	До техногенного воздействия	После техногенного воздействия	До техногенного воздействия	После техногенного воздействия
ИГЭ-1, 1а	0,786	0,821	6	2,54
ИГЭ-2	0,726	0,762	12	2,67

Пористость увеличилась на 2–3 %. Модуль деформации уменьшился в 2–4 раза.

Изменение физико-механических свойств, в свою очередь, привело к снижению несущей способности основания. Рассчитана несущая способность свайного фундамента до и после техногенного воздействия. В табл. 2 представлен результат

расчета несущей способности свай, а также сопротивление свай по грунту. В результате техногенного воздействия на массив грунта.

Несущая способность фундамента уменьшилась на 56 %. Такое изменение является катастрофическим.

Изменение физико-механических свойств вызвало деформацию фундамента

на естественном основании. Рассчитана осадка ленточного фундамента двумя методами: методом послойного суммирования

и методом линейно-деформируемого слоя до и после техногенного воздействия. Результат представлен в табл. 3.

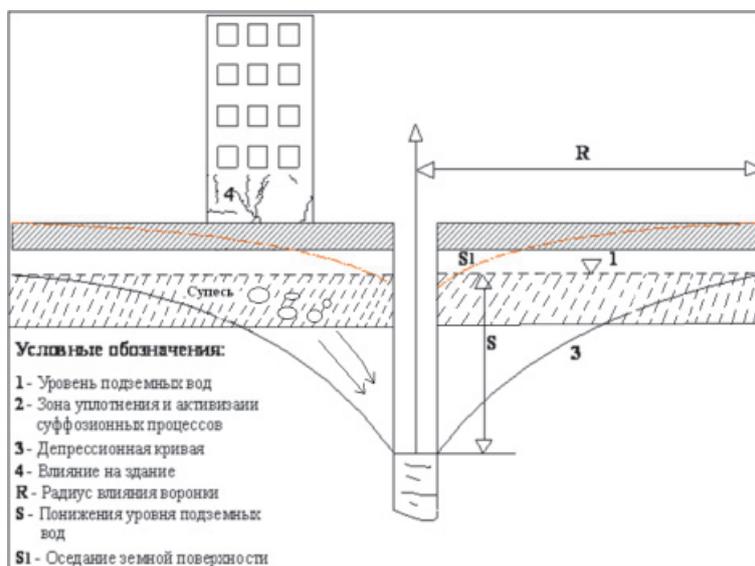


Рис. 4. Понижение уровня подземных вод и суффозионный вынос

Таблица 2

Оценка несущей способности сваи в результате техногенного воздействия

Техногенное воздействие	Несущая способность сваи	Сопротивление сваи по грунту
До	381 кН	272,1 кН
После	167,4 кН	119,6 кН

Таблица 3

Расчет осадки ленточного фундамента в результате техногенного воздействия

Техногенное воздействие	Осадка, см		Норматив (максимальная осадка), см	Вывод
	Методом послойного суммирования	Методом линейно-деформируемого слоя		
До	11,6	11,3	8–12	Осадка не превышает нормативное значение
После	35,0	26,3	8–12	Осадка значительно превышает нормативное значение

Осадка грунтов основания увеличилась в 3 раза и привела к разрушению здания.

Обратным расчетом были рассчитаны критические показатели физико-механических свойств грунтов основания, обеспечивающие устойчивость инженерного сооружения. Расчеты показали, что изменения физико-механических свойств грунтов основания становятся критическими после того, как модуль деформации грунтов основания опускается ниже 7,6 МПа, а показатель текучести превышает 0,7. Эти значения можно использовать в качестве граничных условий при районировании территории [6, 7, 9] по устойчивости инженерных сооружений.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Строительство подземного коллектора потребовало произвести откачку грунтовых вод, что повлекло изменение гидрогеологического режима подземных вод. Эти изменения явились причиной активизации суффозионных процессов.

2. Протекающие в основании сооружения суффозионные процессы формируют повышенную, по сравнению с природной, пористость грунта. Так, коэффициент пористости природных грунтов составлял $e = 0,786$, а после техногенной нагрузки $e = 0,821$. Изменение пористости грунтов

повлекло за собой изменение модуля общей деформации. До техногенной нагрузки $E = 6,00$ МПа, после $E = 2,54$ МПа.

3. Установлено, что изменение деформационных свойств грунтов явилось причиной катастрофической осадки фундамента, что привело к разрушению сооружения. Так, если осадка фундамента, рассчитанная по данным свойств грунтов основания, до техногенной нагрузки составила $S = 11,6$ см, то после техногенной нагрузки $S = 35,0$ см при допустимой (критической) осадке $S_k = 12,0$ см.

4. Проектировать фундаменты зданий и подземных сооружений необходимо с учетом возможного проявления опасных геологических процессов.

5. При проектировании зданий и сооружений в пределах застроенных территорий следует количественно оценивать возможные изменения физико-механических свойств грунтов основания, в сравнении с их критическими значениями.

Список литературы

1. Березнев В.А., Никифоров В.В. Инженерно-геологические методы исследования техногенных процессов // Инженерные изыскания в строительстве: материалы седьмой общероссийской конференции изыскательских организаций. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2011. – 236 с.
2. Березнев В.А., Никифоров В.В. Суффозионные процессы техногенного происхождения в г. Перми // Инженерная геофизика. Тезисы докладов шестой международной научно-практической конференции и выставки. – М., 2011. – CD.
3. Лейбович Л.О., Середин В.В., Пушкарева М.В., Чиркова А.А., Копылов И.С. Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возможности размещения объектов нефтедобычи // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 12. – С. 13–16.
4. Пушкарева М.В., Май И.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Веквшинина С.А. Экологическая оценка среды обитания и состояния здоровья населения на территориях нефтедобычи пермского края // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 2. – С. 40–45.
5. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Инженерно-экологическая оценка территории запасов подземных вод в связи с разработкой нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 2. – С. 9–13.
6. Середин В.В., Галкин В.И., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Сметанин С.Н. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования // Инженерная геология. – 2011. – № 4. – С. 42–47.
7. Середин В.В., Галкин В.И., Растегаев А.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В. Прогнозирование карстовой опасности при инженерно-геологическом районировании территорий. // Инженерная геология. – 2012. – № 2. – С. 40–45.
8. Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В., Копылов И.С., Хрулев А.С. К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных по-

род // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 3. – С. 85–90.

9. Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Бахарев А.С. Методика инженерно-геологического районирования на основе балльной оценки классификационного признака // Инженерная геология. – 2011. – № 3. – С. 20–25.

10. Хоменко В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 2003. – 216 с.

References

1. Bereznev V.A., Nikiforov V.V. Inzhenerno-geologicheskie metody issledovaniya teh-nogennyh processov. Inzhenernye izyskaniya v stroitelstve. Materialy sedmoy obsherosijskoj konferencii izyskatelskih organizacij. Moscow, ООО «Geomarketing», 2011. 236 p.
2. Bereznev V.A., Nikiforov V.V. Suffozionnye processy tehnogennogo prois-hozhdeniya v g. Permi. Inzhenernaya geofizika. Tezisy докладov shestoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii i vystavki. Moscow, 2011. CD.
3. Lejbovich L.O., Seredin V.V., Pushkareva M.V., Chirkova A.A., Kopylov I.S., Jekolo-gicheskaja ocenka territorij mestorozhdenij uglevodородного syrja dlja opredeleniya voz-mozhnosti razmeshheniya obyektov nefteдобычи. Zashita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2012, no. 12, pp. 13–16.
4. Pushkareva M.V., Maj I.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Vekovshini-na S.A. Jekologicheskaja ocenka sredy obitanija i sostojanija zdorov'ja naselenija na territo-riyah nefteдобычи permskogo kraja. Zashita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2013, no. 2, pp. 40–45.
5. Pushkareva M.V., Seredin V.V., Lejbovich L.O., Chirkova A.A., Baharev A.O., Inzhenerno-jekologicheskaja ocenka territorii zapasov podzemnyh vod v svyazi s razrabotkoj nefтяnyh mestorozhdenij. Zashita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2013, no. 2, pp. 9–13.
6. Seredin V.V., Galkin V.I., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Smetanin S.N., Verajat-nostno-statisticheskaja ocenka inzhenerno-geologicheskikh uslovij dlja special'nogo rajonirovaniya. Inzhenernaya geologija. 2011, no. 4, pp. 42–47.
7. Seredin V.V., Galkin V.I., Rastegaev A.V., Lejbovich L.O., Pushkareva M.V., Progno-zirovanie karstovoj opasnosti pri inzhenerno-geologicheskom rajonirovanii territorij. Inzhenernaya geologija. 2012, no. 2, pp. 40–45.
8. Seredin V.V., Lejbovich L.O., Pushkareva M.V., Kopylov I.S., Hrulev A.S., K voprosu o formirovanii morfologii pov-erhnosti treshhiny razrusheniya gornyh porod. Fiziko-tehnicheskije problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. 2013, no. 3, pp. 85–90.
9. Seredin V.V., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Bahareva N.S., Metodika inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya na osnove ballnoj ocenki klassifikacionnogo priznaka. Inzhenernaya geologija, 2011, no. 3, pp. 20–25.
10. Homenko V. P. Zakonomernosti i prognoz suffozionnyh processov. Moscow, GEOS, 2003. 216 p.

Рецензенты:

Наумова О.Б., д.г.-м.н., зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.