

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ОДНОМ ИЗ КАРСТООПАСНЫХ УЧАСТКОВ МОСКВЫ

Крашенинников В.С.¹, Кашперюк П.И.²

(1 - ООО НПФ «СИВС», г. Москва, 2 - НИУ МГСУ, г. Москва)

Аннотация. Опасные геологические процессы играют значительную, а в отдельных случаях, главную роль при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Наличие на участке строительства одного или нескольких таких процессов влечет за собой принятие незапланированных изначальным проектом решений, и, в конечном итоге, приводит к увеличению стоимости строительства. В статье рассматривается пример выполнения инженерно-геологических изысканий в сложных инженерно-геологических условиях.

Ключевые слова: карст, подтопление, стена в грунте, гидрогеологическое моделирование.

В 2017 году заказчиками была поставлена задача: выполнить инженерно-геологические изыскания для проектирования и строительства жилого многофункционального комплекса, расположенного на Звенигородском шоссе г. Москвы. Согласно заданию, сооружение представляет собой две башни высотой примерно по 75 метров на едином стилобатном основании, которое является многоуровневым паркингом, с заглублением фундаментной плиты на 14,5 м от поверхности земли. Известно, что на участке предполагаемого строительства существует риск проявления карстовых и карстово-суффозионных процессов, которые могут негативно повлиять на безопасность проектируемого сооружения.

Учитывая последнее обстоятельство, нами была разработана соответствующая программа инженерно-геологических изысканий, включающая бурение скважин, опытные полевые работы (статическое зондирование, штамповые испытания), геофизические исследования (как площадные наземные, так и скважинные, включая видеоконтроль скважин) и гидрогеологические исследования, включающие опытные кустовые откачки и прогнозное моделирование изменения гидрогеологических условий.

Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки изысканий.

В геоморфологическом отношении площадка расположена на третьей надпойменной террасе эрозионно-аккумулятивной равнины долинного комплекса р. Москвы, на её левом берегу. Участок, размеры которого примерно 100 x 100 м, характеризуется абсолютными отметками поверхности земли 143,50-144,70 м и общим пологим уклоном в южном направлении, в сторону р. Москвы. Поверхность территории участка изысканий искусственно спланирована, практически полностью заасфальтирована, на ней расположено промышленное здание, подземное сооружение ГО ЧС и отдельно стоящие одноэтажные постройки хозяйственного назначения. На момент проведения работ, на участке и прилегающих к нему территориях, поверхностных проявлений карста и других опасных геологических процессов не зафиксировано.

В верхней части геологического разреза, изученного до глубины 50 м, принимают участие отложения четвертичного и каменноугольного возраста.

Четвертичная система представлена: *современными насыпными грунтами* (К-Q_{IV}), состоящими из песков различной крупности, с включениями строительного мусора, мощностью 1,6-5,0 м; *верхнечетвертичными аллювиальными отложениями* (а-Q_{III}) третьей надпойменной террасы – песками мелкими и средней крупности, преиму-

щественно влажными, мощностью 6,2-8,8 м; **нижне-среднечетвертичными водно- и озерно-ледниковыми нерасчлененными** отложениями (f, Ig-Q_{I-II}^{s-d}) сетунско-донского межледниковья–песками мелкими и средней крупности, водонасыщенными, с прослоями суглинков тугопластичных, общей мощностью 8,0-13,6 м. Подошва четвертичных отложений залегает на глубинах 18,4 – 25,2 м.

Ниже, со стратиграфическим несогласием залегают отложения **верхнего отдела каменноугольной системы** (C₃) – породы **дорогомилковского** (C₃dr), **хамовнического** (C₃hm) и **кревьякинского** (C₃kr) горизонтов. Карбон представлен, в основном, пачками водонасыщенных известняков и доломитов мощностью 4,0 - 6,0 м, переслаивающихся с глинисто-мергелистыми разностями сопоставимой мощности. Необходимо отметить, что известняки являются трещиноватыми, кавернозными, отдельными интервалами (до 0,5 – 1,5 м) разрушенными до состояния щебня и муки. Кроме того, скважинами вскрыты полости высотой до 0,5 м и крупные трещины с раскрытием до 5 см. Встреченные полости как открытые, так и заполненные песчаным материалом четвертичного облика – однородными песками крупными и гравелистыми. Значительная разрушенность и закарстованность отдельных интервалов карбонатной толщи подтверждена, помимо бурения, геофизическими методами (как скважинными видами каротажа, так и площадными исследованиями).

Следует отметить, что на исследуемом, а также на прилегающих к нему участках, отсутствуют мезозойские отложения (Рис. 1), в частности, юрский региональный глинистый водоупор. Связано это с тем, что территория расположена практически на месте древнего русла реки Москвы, т.е. в пределах участка после юрского (доледникового) размыва [1,2,4], вскрывшего карстующиеся каменноугольные отложения. Прослои четвертичных водно- и озерно-ледниковых суглинков не могут являться надежным водоупором, отделяющим толщу четвертичных и каменноугольных отложений, ввиду того, что они не выдержаны по мощности и простираению. Кроме того, в южной части исследуемого участка, в районе скв. №№ 19, 22 и 23, кровля карбона имеет резкое (на 4,0-6,0 м по сравнению с остальной территорией участка) понижение, которое можно идентифицировать как склон эрозионного вреза (Рис.2).



Рис. 1. Фрагмент Государственной Геологической карты Российской Федерации. Дочетвертичные отложения. Серия Московская. Лист N-37-II (Москва) [3].

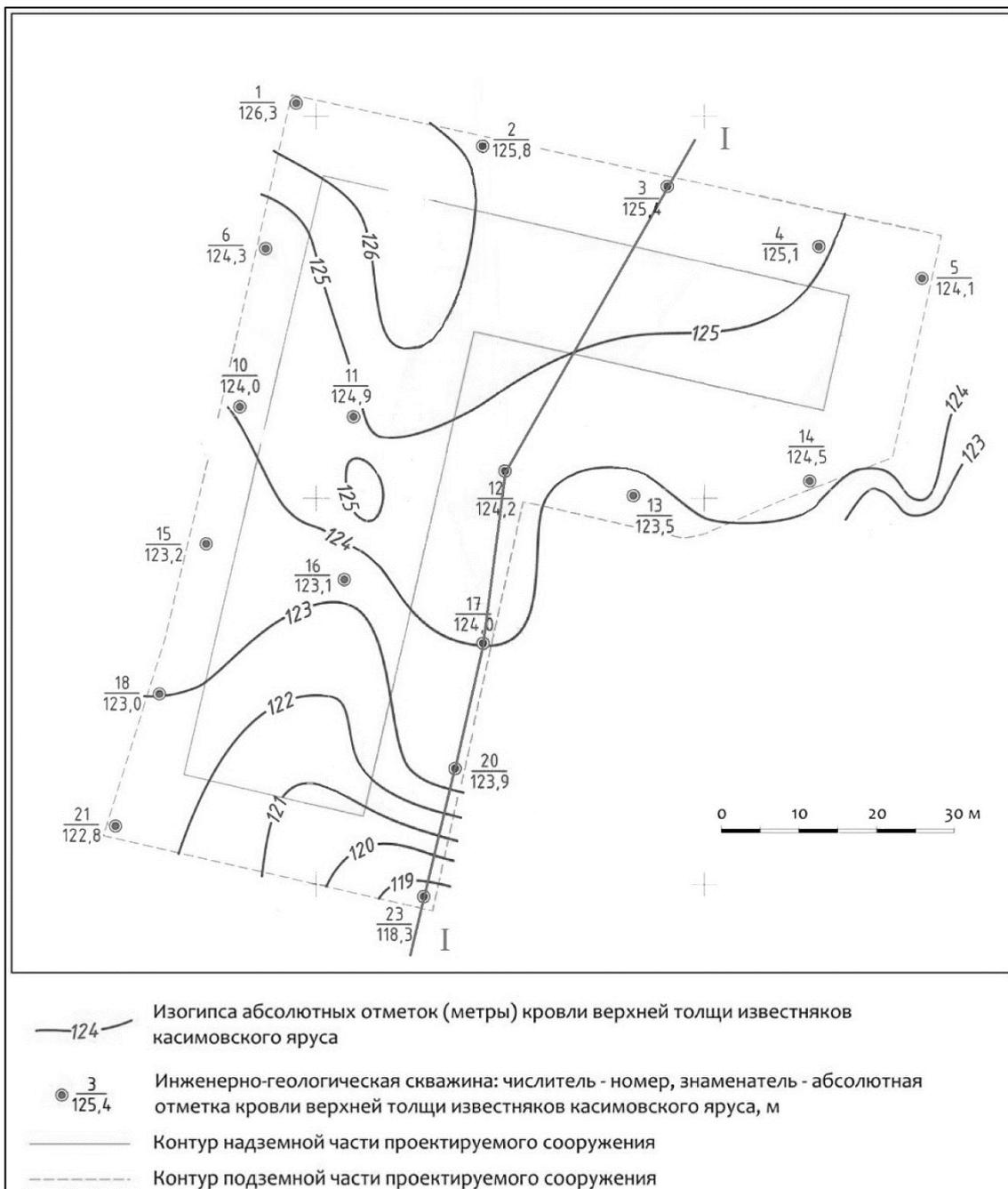


Рис. 2. Карта кровли верхнекаменноугольных отложений.

Гидрогеологические условия сложные, характеризуются распространением трех водоносных горизонтов. *Первый* от поверхности горизонт грунтовых вод залегает на глубинах 9,4 - 10,5 м (абсолютные отметки 133,50 – 134,20 м) в нижней части песчаных четвертичных отложений и в верхних слоях каменноугольной толщи – в перхуровских известняках, выше кровли неверовских глин. Мощность водоносного горизонта составляет 15,5-16,8 м.

Второй от поверхности касимовский межпластовый напорный водоносный горизонт вскрыт на глубинах 32,0-34,0 м (абсолютные отметки 112,63-110,37 м). Водовмещающими породами являются сильнотрещиноватые известняки и доломитыратмировской толщи. Мощность водоносного горизонта изменяется от 4,8 м до 5,5 м. Верхним водупором служат пестроцветные глины неверовской толщи, нижним являются воскресенские глины. Пьезометрический уровень зафиксирован на абсолютных отметках 124,11-124,85 м, высота напора составила 12,2 – 14,2 м.

Третий от поверхности нижнекревьякинско-мячковский трещинно-карстовый напорный водоносный горизонт вскрыт на глубинах 43,2-46,7 м (абсолютные отметки 97,4-97,9 м). Водовмещающими грунтами вскрытой части водоносного горизонта являются трещиноватые известняки и доломиты суворовской подсвиты, залегающие в нижней части верхнего отдела каменноугольной системы. Верхним водоупором служат верхнекаменноугольные глины воскресенской подсвиты, нижний водоупор при настоящих изысканиях вскрыт не был. Мощность водоносного горизонта превышает 3,8 м. Высота напора подземных вод данного водоносного горизонта составила 3,6-4,1 м, а пьезометрический уровень зафиксирован на отметке 101,5 м.

На участке, как было сказано выше, существует вероятность формирования поверхностных карстовых деформаций, а учитывая заглубление фундамента порядка 14,5 метров и глубину залегания грунтовых вод – около 10,0 метров, проектируемое здание является подтопленным. Таким образом, на данной территории следует учитывать риск повреждения здания от опасных геологических процессов: карстово-суффозионных и подтопления. Еще одним осложняющим фактором является то, что в непосредственной близости (порядка 20 метров) от проектируемого здания находятся два жилых дома. Информация о подтверждении сложных геологических условий была оперативно передана проектировщикам сразу после бурения первых скважин. Такие инженерно-геологические условия подразумевают применение дорогостоящих и масштабных защитных мероприятий. Необходимо отметить, что проектировщиками изначально был выбран плитный тип фундамента, который, как известно, служит конструктивным защитным мероприятием на карстоопасном участке.

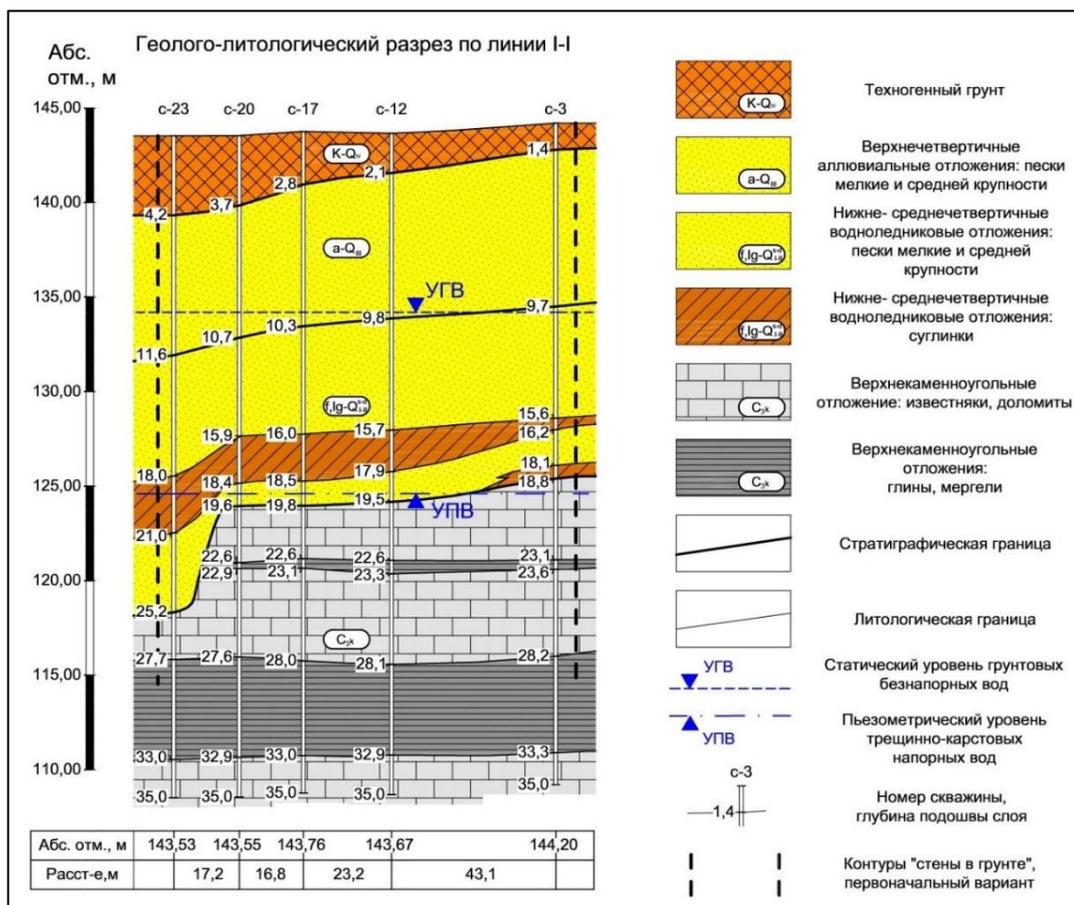


Рис. 3. Схематический геолого-литологический разрез по линии I-I.

Учитывая глубину заложения фундамента, геологическое строение и гидрогеологические условия участка, для производства земляных работ и строительства подзем-

ной части комплекса возникает необходимость возведения «стены в грунте» с заглублением не менее чем на 28,0 метров от поверхности земли (Рис.3). Кроме того, внутри ее контура необходимо осуществление водопонижения в первом от поверхности водоносном горизонте не менее чем на 6,0 метров.

Необходимым противокарстовым мероприятием в подобных инженерно-геологических условиях является закрепление верхней (1,5-2,0 метра) толщи сильно разрушенных карбонатных пород путем инъецирования в неё цементирующего раствора. Указанный комплекс дополнительных мероприятий позволяет безопасно выполнить строительство проектируемого здания и гарантирует его дальнейшую безаварийную эксплуатацию. Однако, все это приводит к резкому удорожанию проекта.

К окончанию проведения полевых работ перед заказчиком возник вопрос о дальнейшем развитии проекта. Рассматривалось два варианта решения сложившейся ситуации. Первый вариант предполагал замораживание проекта ввиду возникших технических сложностей для строительства и значительно возросшей его стоимости. Второй вариант – изменение проекта в сторону его упрощения.

В конечном итоге, было принято решение изменить проект, а именно поднять глубину заложения фундаментной плиты с глубины 14,5 до 10,5-11,0 метров, т.е. почти до уровня свободной поверхности грунтовых вод. Такое решение позволяет сэкономить средства на возведении дорогостоящей «стены в грунте» глубиной 28,0 метров. Тем не менее, из-за близкого расположения жилых домов, обустройство котлована в естественных откосах не представляется возможным, поэтому было запроектировано шпунтовое ограждение котлована из стальных труб длиной по 17,0-18,0 метров с забиркой из деревянных досок. Во избежание затопления дна котлована грунтовыми водами, предусмотрено строительное водопонижение.

По уточненному проекту была выполнен прогноз развития карстово-суффозионных процессов и подтопления участка вследствие «барражного» эффекта от шпунтового ограждения.

Карстово-суффозионные процессы. На территории Москвы развит карбонатный карст покрытого типа. Согласно «Руководству по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста» [5], выделяется три генетических типа провалов: карстово-обвальный, карстово-суффозионный и смешанный (карстово-суффозионно-обвальный). Анализ инженерно-геологического строения и гидрогеологических условий исследуемого участка показал, что наиболее вероятным здесь является смешанный (карстово-суффозионно-обвальный) механизм формирования провала.

Для реализации этого вида провалов необходимо наличие открытой полости или системы трещин вблизи кровли карстующихся пород, при этом карстующиеся породы должны контактировать с вышележащими дисперсными грунтами. Спровоцировать провалообразование могут следующие факторы:

- расширение трещины или полости, вызванное растворением ее стенок;
- значительные колебания уровня подземных вод первого водоносного горизонта;
- динамические или статические нагрузки на грунтовую толщу.

Пункт 6.12, СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» [6], предписывает определить диаметр возможного провала. Следует отметить, что вопреки многолетнему опыту специалистов-карстоведов и «Техническому регламенту о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ) [7], который гласит о необходимости оценки риска (вероятности) поражения территории каким-либо опасным геологическим процессом, применение вероятностных методов данным документом не допускается.

Расчет диаметра провала был проведен по геомеханической модели и с использованием формул, изложенных в монографии Хоменко В.П. [8]. Анализ геологического строения, в том числе рельефа погребенных слоев, а также анализ данных зондирования [3] показал, что наихудшие условия с точки зрения вероятности формирования и размера провала, наблюдаются в южной части участка, в районе скважины № 23. Рас-

четный диаметр провала под подошвой фундаментов здания, в районе скважины № 23 составил 10,1 м.

Подтопление. С целью прогноза изменения гидрогеологических условий, вызванных строительством проектируемого здания было выполнено гидрогеологическое моделирование. В основе расчетной модели были использованы параметры первого от поверхности водоносного горизонта и вмещающих его грунтов, полученные по результатам выполненных при проведении изысканий опытных кустовых откачек. Модель предполагала перекрытие водоносного горизонта шпунтовым ограждением котлована, для которого, в целях имитации максимального подпора, значение водопроницаемости было принято равным «0» (нулю). Расчеты показали, что максимальный подъем уровня грунтовых вод ожидается с северной стороны проектируемого сооружения, а понижение, соответственно с юго-восточной стороны. Величины подъема и понижения грунтовых вод находятся в пределах 0,5 метра, что сопоставимо с амплитудой сезонных колебаний, составляющих 1,0-1,5 метра.

Тем не менее, заказчику даны рекомендации о необходимости поддержания исправности и целостности водонесущих коммуникаций, а также необходимости предусмотреть организацию и регулирование поверхностного стока с выполнением вертикальной планировки, применением гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений, а также дренажно-защитные мероприятия.

Итоги. Производство инженерно-геологических изысканий для строительства ответственных сооружений в сложных геологических условиях требует от изыскателей самых серьезных проработок фондовых и литературных материалов уже на стадии составления программы работ и заключения договорных документов.

При проведении изысканий в карстоопасных районах не следует пренебрегать геофизическими исследованиями, которые в комплексе с инженерно-геологическими методами позволяют разносторонне оценить параметры грунтового массива, в частности развитие в нем карста.

Качественное математическое моделирование изменения гидрогеологических условий участка, вызванное как строительством, так и эксплуатацией сооружения, требует ответственного подхода к определению характеристик водоносных слоев и невозможно без проведения натурных опытно-фильтрационных работ.

Литература

1. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: РУДН, 2017. 328 с.
2. Государственная Геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Московская. Лист N-37-II (Москва). Ред. Дашевский В.В., ВСЕГЕИ, 2001.
3. Крашенинников В.С. Методика оценки карстоопасности в пределах локального участка изысканий. Материалы Международного симпозиума. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. Пермь. 26-29 мая 2015 г. 367 с.
4. Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. – М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997 г.
5. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста, М., ПНИИИС, 1995.
6. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: 2016.
7. Федеральный закон от 29 декабря 2009г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
8. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. –М.: ГЕОС, 2003.