

МОНИТОРИНГ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЯ В ЦЕНТРЕ МОСКВЫ ПОСЛЕ ЧАСТИЧНОГО УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ

Рахматуллина Е.В.

(НИУ МГСУ, г. Москва)

Аннотация: в данной статье приведены результаты многолетних (с 2001 г.) высокоточных геодезических наблюдений за осадками жилого здания в центре Москвы. Дом претерпевает неравномерные по времени и по площади деформации, связанные с карстово-суффозионным процессом, протекающим в его основании и направляемым утечками и вибрациями. В целях удешевления работ инъекционное закрепление основания произведено не по всему периметру здания, а локально – усилены торцевые части, которые испытывали наибольшие деформации до ремонта, и не на полную глубину толщи суффозионно-неустойчивых песков. Приводятся результаты анализа эффективности такого укрепления на основании данных осадочных деформаций за 2,5 года. Если до усиления дом представлялся разделенным на блоки, то в настоящее время ПТС здание-основание омоноличена. Скорости развития осадок значительно уменьшились. Работа выполнена под руководством д.г.-м.н., проф. С.Н. Чернышева

Ключевые слова: осадка, геодезические наблюдения, карстово-суффозионный процесс, усиление фундаментов, инъекция.

Территория Москвы, в особенности центральная часть города, характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями. Здесь распространены опасные, трудные для прогнозирования карстово-суффозионные процессы. Они прослеживаются на участках, занимающих около 15-20% площади мегаполиса и приуроченных к погребенным долинам реки Москвы и ее некоторых притоков.

Развитие карстово-суффозионных процессов обусловлено наличием в геологическом разрезе значительной по мощности толщи водопроницаемых карбонатных пород каменноугольного возраста, представленные сильнотрещиноватыми кавернозными известняками и доломитами, отсутствием или прерывистым распространением глинистых слоев в кровле карстующихся пород, сверху перекрытые четвертичными аллювиальными, флювиогляциальными и гляциальными песчано-глинистыми отложениями, в которых имеют место суффозионно-неустойчивые разности песков. Активизации процесса способствуют динамические, вибрационные нагрузки (соседнее строительство, постоянно действующие линии метрополитена), интенсивные техногенные воздействия (утечки из водонесущих коммуникаций, откачки подземных вод), вызывающие необратимые изменения в геологической среде города. Отмеченные факторы приводят к негативным последствиям – недопустимым деформациям грунтов в массиве основания, карстово-суффозионным просадкам земной поверхности, и как следствие, повреждению конструкций, коммуникаций или полному разрушению зданий и памятников зодчества столицы.

Согласно действующему постановлению правительства Москвы «Об организации мониторинга геоэкологических процессов в городе Москве», в целях своевременного выявления опасных геологических процессов и предотвращения катастрофических последствий, необходимо осуществлять постоянные наблюдения за геологической средой города. Долговременный геоэкологический мониторинг за неблагоприятными геологическими процессами выявил, что наибольшее практическое значение для прогноза возможных карстово-суффозионных провалов имеют систематические топографо-

геодезические измерения, а также визуальные наблюдения за деформациями зданий и локальными поверхностными оседаниями.

В связи с этим актуально исследование жилого здания в Большом Кисловском переулке. Длительный геодезический мониторинг, регистрация результатов регулярных измерений осадочных деформаций домов в процессе эксплуатации проводятся в течение 18 лет и представляют научный интерес.

Жилой дом 5-7 находится в ЦАО Москвы в среде плотной городской застройки на расстоянии около 300 м от станции метро «Арбатская». Здание представляет собой отдельно стоящее строение, расположенное совместно с корпусом № 2 на общей огороженной территории. Жилищный кооператив – памятник истории. В домах проживал и работал целый ряд выдающихся представителей научной и партийной советской элиты: А.С. Новиков-Прибой, М.С. Маргулис, В.Д. Бонч-Бруевич, Н.А. Семашко, именем которого назывался переулок с 1949 г. по 1994 г. В 50-х годах XX века на фасадах домов всем им установлены мемориальные памятные доски с их барельефными портретами.

Рассматриваемые здания (стр. 1 и 2) построены по проекту архитектора С.А. Влащева в 1928-1930 гг. и имеют «зеркальную» симметрию по отношению к центральной оси огороженного дворового участка. Здания конструктивно однотипны. Они представляют собой двухсекционные 4-х этажные здания с чердаком и подвалом, кирпичными стенами, перекрытиями различного типа и двухскатной крышей по деревянным стропилам. В плане форма корпусов прямоугольная. Габариты зданий: длина – 39,9 м, ширина 12,86 м, высота этажей 3,86 м, высота здания от поверхности земли около 20 м. Конструктивная схема здания перекрестно-стеновая. Фундаменты под наружными и внутренними стенами зданий – ленточные в виде кладки из красного глиняного кирпича на сложном растворе, вскрытые шурфами в 1999 г, находились в удовлетворительном и неудовлетворительном состоянии [1]. В начале 1990-х годов были выполнены работы по увеличению пространственной жесткости строения 1, для этого его наружные стены в уровне чердачного перекрытия по всему периметру здания были стянуты двумя стальными гибкими тязами.

В геоморфологическом отношении здание расположено на древнеаллювиальной третьей надпойменной (Кремлевской или Ходынской) террасе левого берега реки Москвы. Рельеф выровнен в результате многовековой хозяйственной деятельности. Абсолютные отметки рельефа у дома № 5-7 изменяются незначительно от 141,56 до 141,87 м, Общий перепад высотных отметок не превышает 0,3 м.

В геологическом строении основания д. 5-7 стр. 1 до глубины 30,0 м от существующей поверхности земли принимают участие современные техногенные отложения tQ_4 , верхне четвертичные древнеаллювиальные отложения Ходынской террасы реки Москвы aQ_3 и карбонатно-глинистые отложения каменноугольного возраста C_3 .

Современные техногенные образования (tQ_4) представлены они песчаными насыпными грунтами, весьма неоднородны по составу, плотности сложения и мощности с включением остатков краснокирпичных фундаментов старых зданий на известковом растворе. Мощность насыпных грунтов изменяется от 4,6 до 5,5 м от существующей поверхности земли и от 1,9 до 3,3 м от пола подвала здания. Рыхлые насыпные грунты неоднородные по составу и плотности залегают непосредственно под фундаментами в отдельных местах у торцевых фасадов здания мощностью до 0,5 м, что не отвечает требованиям действующих норм.

Аллювиальные отложения (aQ_3) залегают под техногенными грунтами. По зерновому составу они представлены преимущественно песками мелкими и средней крупности; пылеватые, а также крупные гравелистые пески отмечаются в единичных пробах. Пески по минеральному составу кварцевые желтые и серовато-желтые, по текстуре – рыхлые, средней плотности, реже – плотные. Пески влажные и маловлажные.

Общий анализ массива древнеаллювиальных песков в основании строения 1 по состоянию на 2012 г. [2] показал, что до абсолютной отметки 127,6 м (12,0 м от пола

подвала) этот массив по плотности сложения в целом находится на границе рыхлый / средней плотности. В ряде мест наблюдалось снижение плотности грунтов с глубиной и наличие рыхлых песков на глубине 12 м от пола подвала. В средней части здания массив грунтов основания плотнее, чем в западной и восточной части. Плотные пески встречены локально, в средней части здания на глубине 4,7 - 7,4 м от дневной поверхности, на абсолютных отметках 137,05-134,35 м.

Верхнеюрские отложения (J_3ox) оксфордского времени на территории домов, а также Большого Кисловского переулка отсутствуют. Юрский глинистый водоупор был размыв в дочетвертичное время (с конца мелового периода и до конца днепропетровского оледенения) в процессе формирования палеоврезов.

Комплекс четвертичных аллювиальных отложений на глубине 16-17 м от поверхности земли подстилаются коренными породами верхнего отдела каменноугольной системы (C_3), которые представлены отложениями касимовского яруса дорогомилковского горизонта. Они сложены ритмично чередующимися глинисто-мергелистыми и известняково-доломитовыми породами. Поверхность отложений этого горизонта неровная. Кровля каменноугольных отложений имеет наклон порядка 4° в юго-восточном направлении.

В скважине № 37 (северо-западный участок между домами) в 1980 г. уровень воды зафиксирован на абсолютной отметке 131,67 м.

В 2003 г. на поверхности уровня грунтовых вод в юго-восточной части площадки между строениями 1 и 2 отмечаются депрессионные воронки глубиной от 1,0 до 2,0 м, соединенные узким каналом и открытые в сторону Большого Кисловского переулка. Эти локальные воронки могут быть интерпретированы как свидетельство в пользу возможной нисходящей вертикальной фильтрации.

Уровень грунтовых вод в апреле 2012 г. встречен на глубине 15,3 м от поверхности земли, на абсолютной отметке 126,5 м. Падение уровня грунтовых вод за период с 1980 по 2012 г. составило более 5-ти метров, что может быть связано со строительством и эксплуатацией глубоких подземных сооружений, в частности перегонных тоннелей между станциями метро Боровицкая и Чеховская, построенные на известняках каменноугольного возраста в условиях искусственного понижения УГВ путем откачки воды, вследствие которой создалась обширная депрессионная воронка в центре Москвы

Согласно «Карте карстовой и карстово-суффозионной опасности на территории г. Москвы», участок относится к территории весьма опасной в отношении проявления карстовых процессов и к опасной категории карстово-суффозионной опасности. Из всех развитых на площадке карбонатных толщ каменноугольных отложений в наиболее благоприятных условиях для образования карстовых форм находятся известняки измайловской и доломиты перхуровской толщ, которые в результате денудационных процессов были размывы и подверглись интенсивному разрушению. Специалисты ЗАО «ИНЖЭКО ЦЕНТР», выполнявшие в 2003 году сейсморазведочные работы [3], пришли к заключению, что по сейсмическим признакам на площадках строений 1 и 2 дома № 5-7 отсутствуют большие каверны и карстовые полости размерами более 2 м в кровле каменноугольных отложений.

На основании изучения суффозионной устойчивости верхней (10-12 м) пачки песков на площадке, авторы отчета [1] пришли к заключению, что массив древнеаллювиальных песков основания в целом является суффозионно-устойчивым, однако в насыпных не слежавшихся грунтах, в некоторых слоях аллювиальных песков: неоднородных песках средней крупности, встреченных непосредственно под подошвой фундаментов, а также гравелистых неоднородных песках возможны суффозионные явления. Кроме того, на участке наряду с суффозионными процессами возможно также до уплотнение насыпных грунтовых рыхлых разностей аллювиальных песков, имеющих коэффициент $e \geq 0,70$. Например, это может произойти под воздействием динамических, вибрацион-

ся на подстилающий скальный массив. Закрепление грунтов производится способом пропиточной инъекции порового пространства грунтов водной суспензией микроцемента, без разрывов и с сохранением его природной структуры.

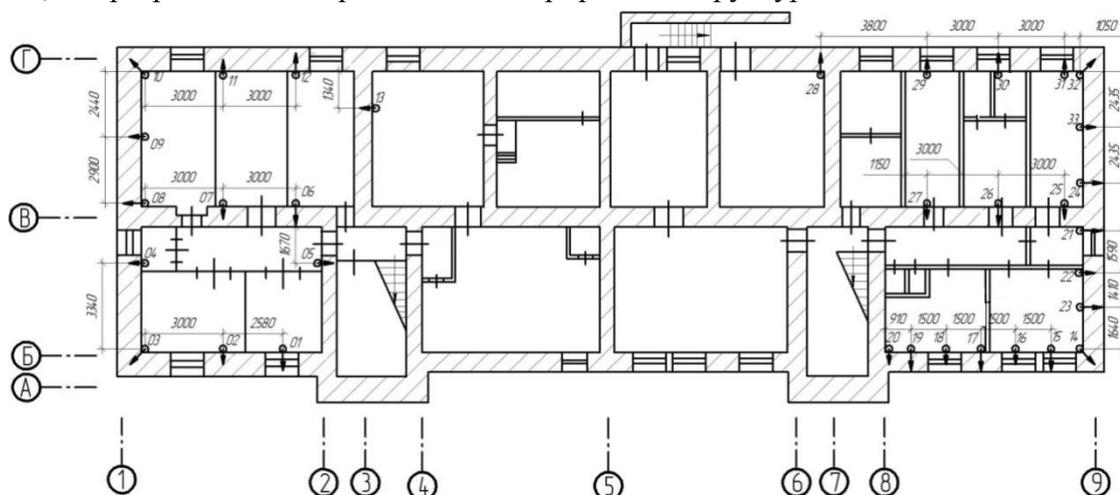


Рис.2. План скважин инъекционного закрепления грунта ГЦС

Проектной задачей усиления являлось обеспечение статической стабильности здания при образовании под ленточным фундаментом суффозионно-карстовой воронки диаметром до 5 м. При рассмотрении поведения конструкции «ленточный фундамент – сваи» на перспективу появления КСВ предполагается полное исключение из работы одной сваи и перераспределение нагрузки на две соседние.



Рис.3. Буроинъекционная свая под подошвой фундамента корп. 1 диаметром от 50 см в верхней части до 20 см в нижней. Свая продолжается в нижележащих песках

В связи с окончанием работ по усилению кладки фундаментов и устройству буро инъекционных свай для увеличения несущей способности фундаментов было произведено обследование фундаментов и грунтов основания здания [5]. В ходе контроля вскрытием установлено, что бутовая часть фундаментов во всех пройденных шурфах была проинъекцирована цементным и микроцементным растворами с выходом раствора из тела фундамента в полости и грунты обратной засыпки пазух фундаментов. Фактическая прочность сцементированной кладки фундаментов 9,3 МПа, что превосходит

проектную прочность кладки, которая оценивалась 0,7 МПа. Встречены фрагменты инъектирования возможных полостей на контакте фундамент-грунт в виде столбиков песчаного грунта, пропитанного цементным раствором. Выявлено отклонение величины диаметров грунтоцементных свай от проектного, замеры показали значения в диапазоне от 20 до 30 см, частично под подошвой фундамента диаметр составил 50 см.

С марта 2001 года по настоящее время регулярно проводится мониторинг высотных деформаций по 22 осадочным маркам, которые установлены на наружных стенах корпусов 1 и 2. Наблюдения за осадками производятся циклами не реже двух раз в год, как правило, один раз в квартал. Высокоточные инструментальные геодезические измерения осадок оснований фундаментов зданий осуществляются методом геометрического нивелирования короткими лучами по методике I класса.

Развитие осадок деформационных марок во времени по результатам нивелирования за весь период наблюдений с 26 марта 2001 года по 10 апреля 2018 года представлено на рис. 4, 5. Цветом отмечены периоды строительных работ и внешних воздействий вокруг домов 5-7.

По графикам (рис. 4,5) видно, что дома на протяжении многих лет находятся в процессе неравномерных деформаций – стабилизация осадок сменяется последующим их быстрым непрекращающимся ростом и т.д. Такое «блуждание» осадок говорит о непрерывных негативных процессах в грунтах основания, приводящие к их постоянному неоднородному деформированию.

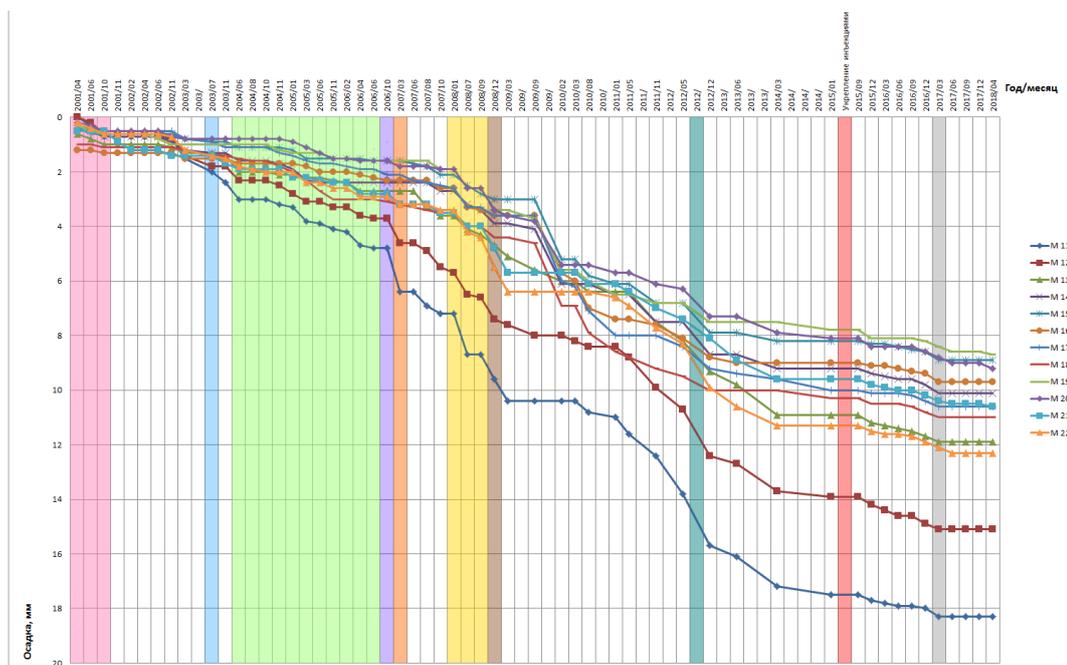


Рис. 4. График осадок марок М11-М22 (корп. 1) за весь период наблюдений

Сопоставив графики осадок марок с хронологией строительных работ вокруг зданий 5-7, сделали вывод, что не прослеживается тесная связь неравномерной осадки домов с историей современной застройки соседних владений. На фоне общего погружения фундаментов наблюдается активизация процесса в период утечек из трубопровода теплотрассы в 2008 г. На протяжении стольких лет существующие опускания грунта сломали корродированную трубу. Протечка случилась между углами стр. 1 и 2, которые обращены к Б. Кисловскому переулку и испытывают наибольшие деформации (зона распространения карстово-суффозионной воронки).

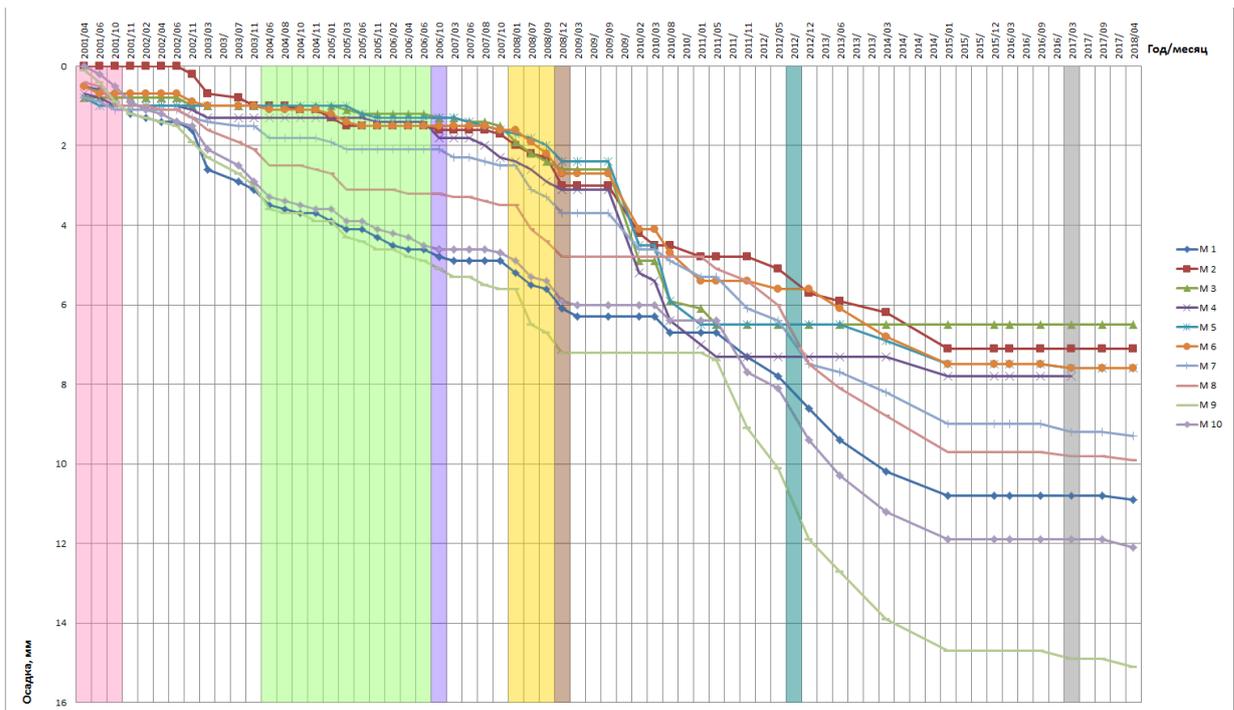


Рис. 5. График осадок марок М1-М10 (корп. 2) за весь период наблюдений

Картину накопленной дополнительной осадки по площади за 14 лет наблюдений показывают построенные изолинии на рис. 6.

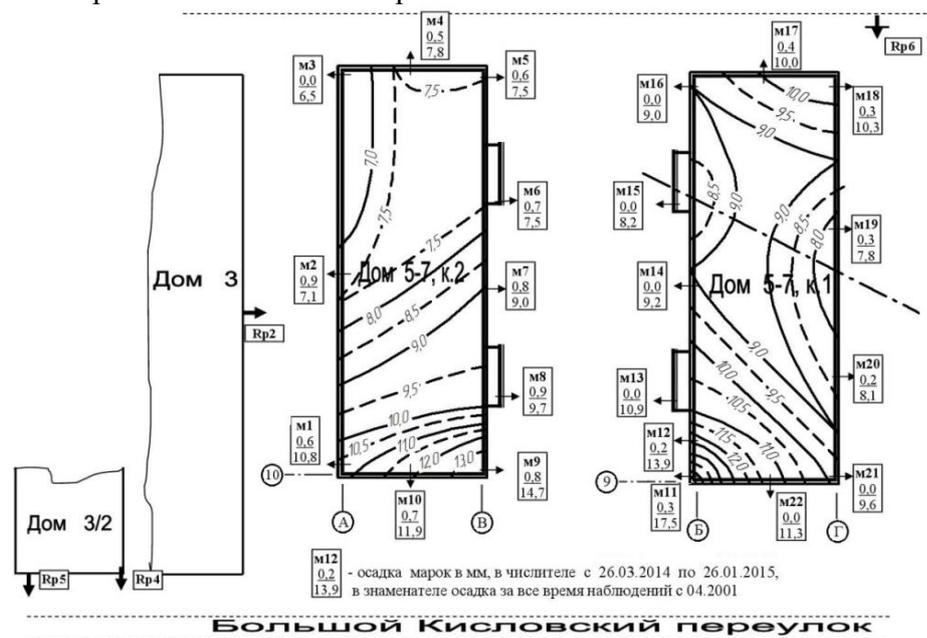


Рис. 6. Изолинии осадок на январь 2015 г.

За неполные 14 лет с начала наблюдений наибольшую осадку 17,5 мм (марка № 11) получил угол корпуса 1 в осях Б-9. В пределах восточного торца корпуса 1, по оси 9 разница осадок составила 7,9 мм. Остальные марки на корпусе 1 показали осадку 7,8 – 10,9 мм.

На рис. 6 мной была проведена условная штрихпунктирная ось для того, чтобы показать характер деформаций корпуса 1 на 2015 г., а именно разделение здания на отдельные блоки, которые оседают с разными скоростями. Основание испытывает неравномерную нагрузку в связи с работой верхних конструкций в качестве балки на одной

опоре (центральная ось здания между лестничными клетками) и двух консолей над суффозионно ослабленными частями массива основания.

Наблюдения за осадками показали, что корпус 2 деформируется, как и корпус 1 в разных частях неоднородно, что приводит к общему искривлению плоскости основания. По данным нивелировки наибольшая осадка 14,7 мм произошла угла по оси В-10. Разница осадок по восточному торцу составляет 3,9 мм. Это в 2 раза меньше, чем на корпусе 1. Остальные марки на корпусе 2 показывают примерно одинаковую накопленную осадку 6,5 – 9,7 мм.

На иллюстрации деформаций зданий видно, что лидируют два прилежащих угла зданий, обрисовывая карстово-суффозионную зону между домами со стороны Большого Кисловского переулка.

В период усиления фундамента и основания летом 2015 г. проводились геодезические наблюдения за деформациями корпуса 1. Осадки зданий при построении графиков и изолиний не учитывались т.к. принималось во внимание, что работы по усилению фундаментов неминуемо сопровождаются дополнительными, так называемыми «технологическими» осадками фундаментов.

Для того чтобы получить более полное и достоверное представление о возможных деформационных процессах, об эффективности такого закрепления систематические наблюдения осадок здания продолжились после окончания комплекса мероприятий укрепления фундамента инъекциями (сентябрь 2015 г.), геодезический мониторинг ведется по настоящее время.

Данные по осадкам наружных стен здания за сентябрь 2015 – март 2017 гг. свидетельствует о продолжении осадок – снова опережает юго-восточный угол здания, который испытывал наибольшие деформации и был укреплен большим количеством грунтоцементных свай, которые устраивались с шагом 1,5 м, тогда как в остальных частях дома шаг составил 3,0 м.

После укрепления максимальная накопленная осадка 1,2 мм наблюдается на марке №12. Скорость осадки во времени $v_{ср}$ равна 0,69 мм/год. Отметим, что марка № 11, которая первенствовала по величине осадки до усиления, показывает 0,8 мм. В пределах восточного фасада корпуса 1 высотная деформация после укрепления достигла 1,0 мм. Скорость осадки М13, М21, М22 одинакова и равна 0,46 мм/год. Таким образом, разность осадок по данному торцу 0,4 мм. Противоположная западная часть здания деформируется незначительно и равномерно. По маркам №№ 15, 16, 18 осадка одинакова и составляет 0,7 мм. В центральной части здания наблюдаем накопленную осадку, равную 0,9 мм (М14, М19).

Закрепление основания и кладки фундаментов привело к перелому графиков осадок. После усиления скорости погружения уменьшились вдвое, по марке № 11 – почти в 3 раза. В последующий год произошла стабилизация деформаций. За 4 цикла устанавливаем полное прекращение осадок по всем маркам.

Основание корпуса 1 омоноличено, дом больше не расчленен на блоки, садится равномерно, нет разнонаправленных движений. Исключение только составляет марка № 12, расположенная в районе крыльца рядом с восточным эркером между осями 8-9/Б, которая локально деформируется больше остальных. Имеется наклон опускания в одну сторону с северо-запада на юго-восток, что связано с деятельностью воронки, расположенной между домами.

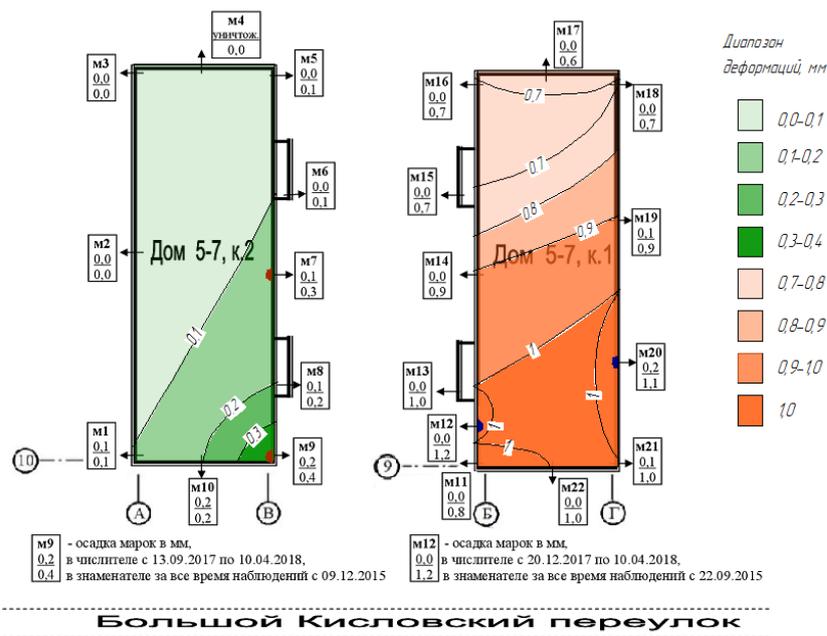


Рис. 7. Изолинии осадок после укрепления фундамента корп. 1

Корпус 2 не подвергся укреплению инъекциями, однако с января 2015 г. устанавливаем, что осадки перестали увеличиваться по всем маркам и долгое время показывали 0,0 мм. На протяжении трех с небольшим лет получил осадку равную 0,4 мм угол здания в осях В-10, ближайший к проезжей части.

Итак, рассмотрев геологические процессы, протекающие на данном участке, определили местонахождение карстово-суффозионной воронки в восточной части площадки между домами (Рис. 8). Она имеет эллиптическую форму, захватывает зеркально расположенные углы двух домов. Деятельность обширно развивающейся КСВ в этой зоне постоянно проявляется как на здании, так и на поверхности земли: трещина между бортовым камнем и бетонной заливкой, проседание асфальтового покрытия, деформации пола подвала, вынос материала из-под основания здания и как следствие зафиксированный отрыв грунта от подошвы фундамента, максимальные осадки марок №№ 11 и 9 по данным длительных геодезических наблюдений. Центр воронки смещен в сторону корп. 1, который вследствие этого испытывает наибольшие деформации.

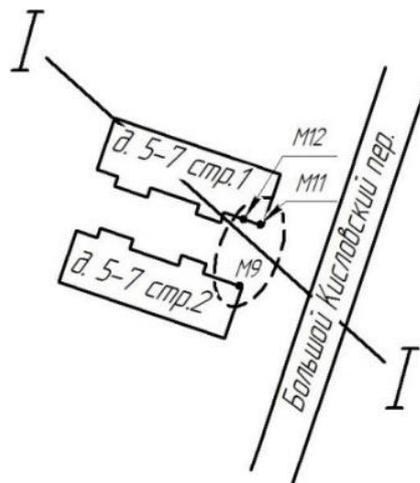


Рис. 8. Предполагаемый контур КСВ

Исходя из существующих фактов, необходимо откорректировать инженерно-геологический разрез (ООО «Инжэко центр»), показав гидрогеологическое окно, кото-

рого нет на исходном разрезе. В нашем варианте литологическое окно расположено между скважинами №№ 37 и 40 (1980 г.) по середине. Наличие окна подтверждается резким снижением УГВ в районе воронки от ЭДЗ-6 к скважине № 40. Снижение уровня воды к воронке идет как с северной, так и с южной стороны. Через гидрогеологическое окно происходит вертикальная фильтрация воды и перетекание из одних водоносных горизонтов в другие.

В заключении отметим, что на протяжении всего периода наблюдений за деформациями корпусов 1 и 2 они испытывают осадку в связи с протекающим на территории ЖК «Кисловское» карстово-суффозионным процессом.

Скорость осадки марок по корпусу 1 после закрепления фундамента и основания снизилась с 1,28 мм/год до 0,37 мм/год по лидирующей марке. Произошло выравнивание осадок различных частей здания в связи с закреплением; разность осадок различных марок за 2,6 года после инъекций составляет 0,6 мм, тогда как за тот же период до инъекций она составляла 2,9 мм. Осадки корпуса 1 дома 5 по Б. Кисловскому переулку не полностью прекратились после инъекций, в связи с чем продолжается рост ранее заложённых в несущих конструкциях вертикальных осадочных трещин со скоростью порядка 0,1 мм/год по наиболее активным трещинам. Мониторинг за деформациями копр. 1 ЖК «Кисловское» после закрепления основания и фундамента копр. 1 в целом показал несомненную эксплуатационную пригодность жилого дома, памятника истории, и техническую эффективность проведенного закрепления грунтов.

Скорость осадки по лидирующей марке корпуса 2 на протяжении 2001-2014 года составляла 1,06 мм/год, с 2014 года по настоящее время (апрель 2018) она снизилась до 0,2 мм/год, что в два раза меньше, чем по корпусу 1 после его укрепления. В 2015-2017 годах геодезический мониторинг фиксировал стабильность большинства марок на корпусе 2 и незначительную осадку некоторых марок. Необходимость в укреплении его фундаментов, основания и несущих конструкций на текущий момент отсутствует.

Литература

1. Научно-технический отчет по теме: «Обследование строительных конструкций и грунтов основания здания по адресу: г. Москва, Б. Кисловский пер., д. 5, стр. 1», Министерство образования Российской Федерации МГСУ, рук. С.Н. Чернышев; отв. исполн.: Б.А. Гранит, М., 1999. – 193 с. – Арх. № /363-99.
2. Техническое заключение о дополнительном обследовании грунтов основания жилого 4-х этажного здания с подвалом по адресу: Б. Кисловский пер., д. 5-7, стр. 1 в г. Москве, ООО «ИГЦ», рук. Б.А. Гранит, отв. исполн.: В.В. Буянов, М., 2012. – 33 с. – Договор № 15/12 от 01.02.2012 г.
3. Заключение по обследованию потенциальной карстовой опасности участка жилых домов, расположенных по адресу: Большой Кисловский пер., д. 5, стр. 1, 2, ЗАО «ИНЖЭКО ЦЕНТР», рук. А.С. Алешин, М., 2003. – 49 с. – Договор № 02-03(К).
4. Проектная документация «Комплекс мероприятий по реконструкции и усилению фундаментов здания по адресу: Москва, ЦАО, Б. Кисловский пер., д. 5, стр. 1». Раздел 1. Конструктивные и объемно-планировочные решения. Рабочая документация, ООО «Горгеострой», рук. А.И. Панченко, М., 2015. – 16 с. – Договор № 01-М-2015-КР.
5. Технический отчет по результатам обследования фундаментов и грунтов основания здания, расположенного по адресу: г. Москва, Б. Кисловский пер., д. 5-7, стр. 1, ООО «Инжиниринговый Геотехнический Центр», рук. Ю.В. Брызгалин, М., 2015. – 26 с. – Договор № 27/15 от 07.10.2015 г., доп. согл. №1 от 14.10.2015 г.