

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 624.131.3

ЕЩЕ РАЗ ОБ ОСАДКЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ КАК МНОГОФАКТОРНОМ ИНТЕГРАЛЬНОМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

© 2020 г. С. Н. Чернышев^{1,*}, П. И. Кашперюк^{1,2,**}, А. М. Мартынов^{1,3,***}

¹ Национальный исследовательский Московский строительный государственный университет (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337 Россия

² Общество с ограниченной ответственностью “Научно-производственная фирма
Специальные изыскания для высотного строительства” (ООО “НПФ СИВС”),
ул. Архитектора Власова, 45А, Москва, 117393 Россия

³ Акционерное общество Московская объединенная энергетическая компания (АО “МОЭК-Проект”),
ул. Нижняя Красносельская, 28, стр. 2, Москва, 105066 Россия

*e-mail: 9581148@list.ru

**e-mail: npf-sivs@yandex.ru

***e-mail: martynov30am@gmail.com

Поступила в редакцию 15.10.2019 г.

После доработки 6.12.2019 г.

Принята к публикации 15.12.2019 г.

В статье обосновывается необходимость рассмотрения осадок грунтов, лежащих в основании любого сооружения, не просто как вертикальное смещение сооружения вследствие сжатия, уплотнения или иных изменений в горных породах, а как многофакторный интегральный инженерно-геологический процесс, связанный с вертикальным оседанием грунтов, обусловленный уменьшением объема грунта за счет его деформации под нагрузкой или изменения (ухудшения) его прочностных и деформационных свойств в процессе природных и техногенных воздействий. Впервые публикуется разработанный С.Н. Сотниковым график погрешности расчета осадки грунтов основания, рассчитанной методом послойного суммирования, к фактически наблюдаемой. Отмечается, что расчетные прогнозные осадки грунтов основания, предусмотренные проектом для слабосжимаемых грунтов, как правило, на 40–60% превышают фактические, а для сильносжимаемых грунтов фактические осадки в несколько раз могут превышать расчетные. Такое несоответствие авторы видят в механическом подходе к моделированию процесса осадки грунтов основания, в то время как осадка грунтов основания является многофакторным инженерно-геологическим процессом, изменяющимся в пространстве и времени. На целом ряде примеров в различных регионах страны показан широкий диапазон естественных природных геологических и техногенных процессов, влияющих на неравномерность, величину и длительность осадок грунтов оснований под различными зданиями и сооружениями. Приведены примеры управления и регулирования данными процессами.

Ключевые слова: осадка, грунт основания, управление процессом, погрешность определения, параметры геотехнических условий, прогноз фактических осадок

DOI: 10.31857/S0869780920020034

Процесс осадки является реакцией грунтового массива основания на воздействие нормальной нагрузки от здания или сооружения. Он протекает в геологической среде, вмещающей те или иные сооружения, во время их строительства и эксплуатации, а также вследствие строительной и иной деятельности на соседних участках. Процесс осадки относится к инженерно-геологическим процессам, так как согласно СП 47.13330.2016¹, инженерно-геологическим процессом называется “изменение состояния компонентов геологической среды

во времени и в пространстве под действием техногенных факторов”. Такое понимание термина “инженерно-геологический процесс” защищал, а возможно и ввел Л.Д. Белый, который писал, что различие между физико-геологическими процессами и явлениями (теперь их называем просто геологическими) и инженерно-геологическими процессами и явлениями надо искать в том, что первые возникают и развиваются стихийно, в то время как процессы и явления инженерно-геологические есть результат сознательной деятельности человека, они управляемы и регулируемы [1]. Процесс осадки несомненно является регулируе-

¹ <http://docs.cntd.ru/document/456045544>

мым, часто управляемым. Регулирование осуществляется на стадии проектирования путем выбора типа, конструкции и глубины заложения фундамента; управление — на стадиях строительства и эксплуатации сооружения путем внесения изменений в конструкцию верхнего строения и/или укрепления основания и фундамента, а также и соблюдением правил эксплуатации территорий, прилежащих к зданию или сооружению, защищаемому от процесса осадки.

В инженерной геологии процесс осадки был рассмотрен И.В. Поповым в классическом учебнике по инженерной геологии в 1951 г. [6]. Затем в 1960 г. этот процесс описал Н.Я. Денисов в учебнике по инженерной геологии для строителей, подготовленном в МИСИ [2]. Однако в последующие десятилетия инженеры-геологи отошли от изучения этого процесса. Так, например, в учебнике В.Д. Ломтадзе в томе, посвященном процессам в грунтах и грунтовых массивах, изданном в 1977 г., “осадка” не рассматривается как инженерно-геологический процесс [5]. Термин “осадка” не употребляется и не рассматривается ни в современном, имеющем беспрецедентно большой объем, 3-томном учебнике МГУ им. М.В. Ломоносова по инженерной геологии [3], ни в современном словаре по инженерной геологии [4], ни в природоведческом словаре [7]. И только в значительно более полном словаре-справочнике по инженерной геологии этому процессу уделено 6 страниц текста технического характера [9]. В названных работах не рассматривается разнообразие механизмов процесса осадки как многофакторного природно-техногенного процесса.

Осадка зданий и сооружений широко распространенный процесс. Для каждого сооружения прогнозируется величина осадки. Неравномерная осадка, вызванная обычно неоднородностью основания, или неоднородностью воздействий на него со стороны сооружения, или локальным внешним воздействием, часто приводит к деформациям зданий и сооружений вплоть до их аварийного состояния. Ошибочный прогноз осадки нередко останавливает строительство до разработки нового прогноза осадки, как следствие ведет к перепроектированию с добавлением строительных мероприятий, направленных на стабилизацию осадки или, по крайней мере, на выравнивание осадки частей здания.

В работе [11] приведен пример неравномерной осадки колокольни Свято-Троицкого Дивеевского монастыря в ходе ее строительства в первом десятилетии XX в. Для ликвидации крена сооружения там облегчили стену, в сторону которой наклонялась колокольня, и пристроили к ней жилой корпус в качестве контрфорса. В середине прошлого века, когда были достаточно развиты инженерная геология и механика грунтов в

Москве при строительстве сталинских высотных зданий были допущены серьезные ошибки в прогнозе осадки, по крайней мере, 2-х из 7 высотных зданий. Память об этих просчетах сохраняется в архивах Москомархитектуры. Так здание гостиницы Пекин не является высотным, хотя было запроектировано в ряду таких башен, как МИД на Смоленской площади и Министерства путей сообщения (МПС, ныне Министерство транспорта РФ) у Красных ворот. Здание гостиницы Украина не было выведено на проектную отметку. К чести специалистов той эпохи, нужно сказать, что осадка здания МПС на неоднородном по деформационным свойствам грунтах основании была рассчитана с учетом неоднородности и с учетом того, что часть основания во время строительства находилась в мерзлом состоянии в связи с устройством морозильной завесы для проходки наклонного туннеля выхода из станции метро Лермонтовская (ныне Красные ворота). Здание МПС строили наклонно с расчетным отклонением от вертикали. После протаивания основания ось здания приняла вертикальное положение². Ранее такую задачу о неравномерной осадке сооружения с заданным наклоном в расчете на последующее выравнивание решил Н.Н. Маслов при строительстве Свирской ГЭС в 1920-х годах.

Однако эти успешные прогнозы осадки многочисленны в общем ряду прогнозов. Даже на уникальных современных объектах происходят осадки, которые намного превышают расчетные значения и вызывают необходимость применения дорогостоящих мероприятий для ликвидации опасного развития процесса. Таков жилой дом-башня на Ленинградском проспекте. Осадка центральной высотной части здания намного превысила осадку внешних малоэтажных частей. Основание пришлось заморозить для прекращения осадки.

Статистику по прогнозам осадки привел в своей докторской диссертации петербургский ученый С.Н. Сотников, который защитил ее в МИСИ при участии одного из авторов в качестве члена Ученого совета [8]. График, представленный на рис. 1 ранее никем не был опубликован. С.Н. Сотников (1986) проанализировал соответствие расчетной и фактической осадки зданий и сооружений по 146 объектам, используя собственные наблюдения, отечественные и зарубежные публикации. На графике по оси абсцисс отложена полная величина фактической осадки в сантиметрах. По оси ординат отношение этой величины к расчетной осадке полученной методом послойного суммирования, который сегодня остается основным методом проектирования природно-технической системы фундамент-ос-

² Сведения из лекции проф. И.С. Комарова, прочитанной в МГРИ в 1957 г. по курсу инженерной геологии.

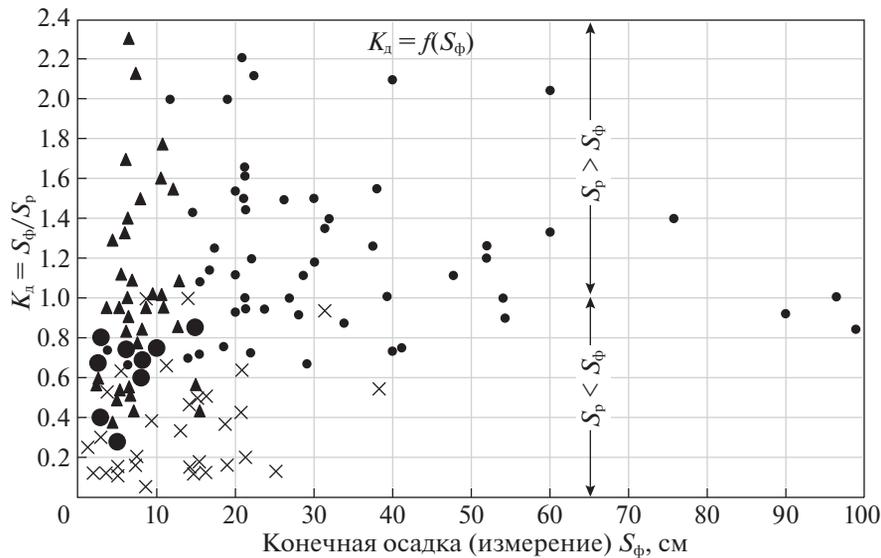


Рис. 1. График распределения погрешностей расчета осадки зданий и сооружений методом послойного суммирования к фактически наблюдаемым (по С.Н. Сотникову, 1986; с уточнениями). Условные обозначения K_d : кружки: малые – для слабых грунтов (ленточных глин, илов, заторфованных супесей и суглинков и др.); большие – для моренных суглинков полутвердой и твердой консистенции; треугольники – для супесчано-суглинистых грунтов различной консистенции; диагональные крестики – для слабосжимаемых грунтов, в основном песков.

нование согласно строительным правилам СП 22.13330.2016. С нашей точки зрения эти данные не потеряли актуальности и на сегодняшний день.

Теоретически все точки должны были бы лечь на горизонтальную прямую со значением $K_d = 1$, либо сгруппироваться вдоль нее в силу погрешностей измерения ($K_d = S_{\phi}/S_p$ – отношение S_{ϕ} – фактической осадки, к S_p расчетной осадке). Однако группировки нет. Точки почти равномерно рассеяны по полю графика, что свидетельствует о большом расхождении прогнозов с реальными осадками зданий и сооружений.

По грунтовым условиям все объекты наблюдений С.Н. Сотниковым были разделены на две группы: возведенные на слабых грунтах (илах, ленточных глинах, заторфованных супесях и др.) и на плотных грунтах (коренных породах разного состава: глинах, мергелях, известняках, на морене полутвердой и твердой консистенции, песках плотных и средней плотности и др.).

На графике видно, что осадка большинства объектов на плотных грунтах была не более 25 см, на слабых не более 55 см. Осадку 9 объектов на слабых грунтах превысила 1 м (не показаны на графике из-за масштаба). Расчет S_p в большинстве случаев приводил к большим ошибкам. Так, отклонение S_p от S_{ϕ} не более чем на $\pm 10\%$ было отмечено только в 16 случаях (11%). Совпадение результатов расчетов с фактической осадкой можно рассматривать как случайное явление, а не как правило.

По объектам на плотных слабосжимаемых грунтах расчетная осадка оказалась сильно завышенной в сравнении с фактически достигнутой. Отношение расчетной осадки к фактической для этих грунтов достигает 5 и даже 10, т.е. погрешность составляет сотни процентов от фактической осадки. Однако такие погрешности расчета не опасны для зданий и сооружений на однородном основании. В большинстве случаев они не требуют дополнительных мероприятий при эксплуатации зданий и сооружений и лишь свидетельствуют о значительном перерасходе материалов и рабочего времени для устройства фундамента. На объектах со слабыми грунтами напротив расчетная осадка, как правило, меньше фактической. Превышение фактической осадки над расчетной достигает 200% от расчетной величины, что, несомненно, требует мероприятий по усилению фундаментов и закреплению грунтов после завершения строительства.

Причины недопустимых погрешностей при прогнозе осадки согласно С.Б. Ухову [10] сводятся к двум пунктам: 1) несовершенство расчетной модели в механике грунтов; 2) погрешности данных изысканий, закладываемых в расчет.

Величина погрешности определения характеристик массива основания при изысканиях и ее влияние на погрешность расчета осадки частично были рассмотрены в предыдущих работах [11, 12]. Был сделан вывод, что для некоторых типов фундамента погрешности определения геологических границ и характеристик грунтов при совре-

менных методах изысканий могут дать отклонение в расчете осадки на величину до 50% от расчетного значения. Потому, по-прежнему, выяснение природы погрешностей I рода, т.е. связанных с неточностью модели процесса, остается актуальным. Надо говорить не только о геомеханической модели, но и об инженерно-геологической модели процесса.

Расчетные геомеханические модели процесса осадки базируются на представлении, что осадка есть сжатие грунта под нагрузкой по закону Гука или иным законам, учитывающим фильтрационную консолидацию, пластическую составляющую деформации и другие особенности грунта. Но сам процесс осадки, который фиксируется геодезическими методами по маркам на стенах здания и наклонам его архитектурных осей, имеет более сложную природу, чем только сжатие грунтов основания от механической статической и динамической нагрузок.

Осадка есть интегральный инженерно-геологический процесс, который протекает в основании здания и сооружения с участием конструкций сооружения и окружающей здание геологической среды, которая не входит в расчетный объем “луковицы” основания. На показания марок, фиксирующих осадку, оказывают влияние, например, процессы пучения и разжижения грунта при протаивании, если промерзание распространяется под фундамент. Дополнительную осадку может вызывать подтопление, с которым связано изменение деформационных характеристик некоторых грунтов. С подтоплением часто связано изменение состояния грунтов и состава подземных вод, характерных для городских условий. Изменение ионного состава воды влияет на деформационные характеристики грунтов и ведет к приращению осадки. Изменение напряженного состояния массива основания в связи с проводимыми рядом земляными работами по устройству котлованов, траншей для коммуникаций и вертикальной планировки и даже замена асфальтного покрытия могут вызывать дополнительную осадку построенных зданий, осадка которых была завершена. В результате суффозии песчаные грунты разуплотняются обычно в отдельных частях основания, что может вызывать неравномерную осадку отдельных частей здания.

Рассмотрим несколько примеров из практики кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ МГСУ, показывающих интегральный характер процесса осадки, как многофакторного процесса.

В начале 1990-х годов в центре Москвы воссоздан Храм Христа Спасителя, взорванный в 1937 г. На его месте было начато строительство небоскреба Дворца советов. Под башню на скальное основание из известняков каменноугольного воз-

раста (известняки карбона) был уложен плитный фундамент толщиной 5 м. Дворец советов так и не был построен, однако фундамент сохранился. Длительное время он был дном плавательного бассейна, устроенного на месте котлована. Этот фундамент был использован для строительства храма. Когда железобетонные стены и пилоны здания храма были подняты примерно на половину высоты, геодезическая служба стройки зафиксировала неравномерные деформации, наклоны стен и пилонов. Стройка была остановлена. Правительством Москвы было поручено специалистам Московского инженерно-строительного института (МИСИ, в настоящее время НИУ МГСУ) определить причину деформаций. Аналогичное задание независимо получил НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. Исполнителям не было известно о параллельных работах, но их заключения совпали. От МИСИ работу провел доцент кафедры инженерной геологии А.Н. Чумаченко. Установлено, что неравномерные деформации, развившиеся в наклонных конструктивных элементов здания, вызваны локальными прогибами фундаментной плиты в связи с наличием пустот под плитой в кровле известняков. Площадь отрыва фундамента от плиты составляла местами более 10 м². В расчете воссоздаваемого здания грунты основания были приняты как однородный скальный массив, на который плита опирается по всей площади. В реальности там оказались пустоты карстового или суффозионного происхождения. Образование пустот вероятно связано с утечками воды из плавательного бассейна и подводящих коммуникаций. Возможно, что при укладке плиты под нее была сделана песчаная подушка для выравнивания дна котлована. Песок был вынесен в карстовые полости. По данным инженерно-геологических изысканий, проводившихся под руководством А.Н. Чумаченко, перед строительством было известно, что в известняках имеются пустоты. Изыскатели фиксировали провалы инструмента. Если даже не суффозия песчаной подушки, то растворение известняков теплой хлорированной водой из бассейна могло привести к образованию пустот под фундаментной плитой. Обнаруженные в ходе строительства полости под фундаментной плитой были инъецированы, и осадочные деформации прекратились.

В 1996–2018 гг. авторы проводили наблюдения за осадкой двух жилых домов в центре Москвы в Большом Кисловском переулке. Здания, построенные в 1927 г., испытывали деформации от неравномерных осадок их частей с образованием сквозных трещин в несущих конструкциях. В основании домов залегают толща кварцевых песков III надпойменной террасы Москвы-реки. Несомненно, что осадка зданий от нагрузки на пески завершилась еще в процессе строительства, т.е. за 70 лет до начала наших наблюдений за их осад-

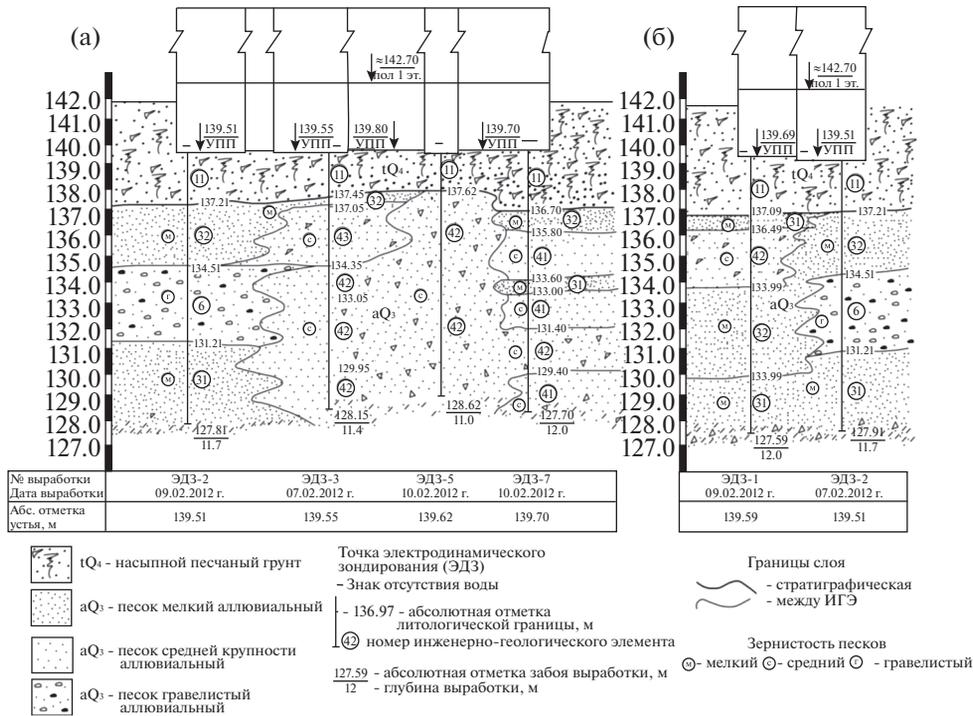


Рис. 2. Инженерно-геологические разрезы основания кор. 1 дома 7 по Б. Кисловскому пер. в г. Москве.

кой, вызванной, по-видимому, иными причинами и не связанной с нагружением песчаного основания статическими нагрузками. На исследуемом участке работ залегают пески от пылеватых до гравелистых, которые местами по зерновому составу относятся к суффозионно-неустойчивым грунтам (рис. 2). Пески подстилаются юрскими глинами и слоистой карбонатной толщей каменноугольных отложений (рис. 3).

По территории проходит магистральный трубопровод городской водопроводной сети. Владелец зданий ЖК в весенний период воду из системы отопления сливал в приямок, пользуясь тем, что она хорошо фильтровалась в песчаное основание. Кроме того, имели место аварии водонесущих коммуникаций в зданиях, а также в течение нескольких месяцев потери воды из магистрального водовода. В соседних владениях в период наблюдений были устроены котлованы глубиной до 11 м, и возведены многоэтажные здания на расстоянии 12 и 23 м от стен обследуемых старых зданий.

Нивелирование I класса по 22 маркам на цоколях зданий показало, что идет незатухающая неравномерная осадка домов кооператива, составившая по отдельным маркам от 6.5 до 17.5 мм за 15-летний период наблюдений. Темп осадки хорошо коррелировал по времени и месту с техногенными событиями на поверхности земли, а именно: с временем активных утечек из водонесущих коммуникаций, разгрузкой грунтового

массива при устройстве глубоких котлованов и последующим их нагружением возводимыми зданиями, вибрационными воздействиями при сбрасывании с самосвалов многотонных деталей башенных кранов; прокладкой траншеи для кабеля в мерзлом грунте с помощью отбойного молотка и др. В рассматриваемом примере осадка зданий произошла вследствие названных процессов и не была вызвана дополнительным статическим нагружением основания на фундаменты старых зданий.

Управление названными техногенными процессами в Б. Кисловском переулке позволило минимизировать и даже остановить осадку геодезических марок. Так застройщики соседних владений по просьбе кооператива перешли на разгрузку тяжелых деталей с самосвалов с помощью автокрана и не создавали вибрацию. При разрушении ветхого здания на площадке новостройки, когда тяжелые обломки стен падали на землю и создавали вибрацию, строителями по просьбе владельцев наблюдаемых зданий была устроена подушка из деревянных обломков перекрытий ликвидируемого здания: вибрация и осадка прекратились. Проходка траншеи под кабель в мерзлом грунте была прекращена до протавивания грунта.

Необходимо отметить, что максимальные осадки в Б. Кисловском переулке были отмечены под теми частями зданий, которые находятся над кровлей юрских глин. Такой участок показан в

залегает слой однородных, макропористых покровных суглинков. При замачивании такие суглинки существенно повышают свою деформационную способность, а наличие макропор обеспечивает им водопроницаемость, позволяющую быстро распределять влагу по слою. Покровные суглинки подстилаются на глубине 4–5 м глинистыми отложениями московской морены, как всегда слабосжимаемой. В отчете по инженерным изысканиям была дана рекомендация передать нагрузку от здания на моренные грунты или предусмотреть свайные фундаменты, поскольку покровные суглинки склонны к потере прочности во времени от возможных непредвиденных негативных воздействий, особенно замачивании. Однако проектом была предусмотрена фундаментная плита, залегающая на покровных суглинках, поскольку указанный изыскателями модуль деформации покровных суглинков в естественном состоянии обеспечивал допустимую осадку. Однородность суглинков и их выдержанность по площади обеспечивала отсутствие кренов фундамента.

Когда здание было построено, и предстоял монтаж лифтов, то выяснилось, что имеет место недопустимый наклон лифтовых шахт, отклонение оси здания от вертикали. Повторные изыскания выявили причину крена. Оказалось, что покровные суглинки были локально замочены фекальными стоками вследствие аварийной утечки из безнапорной линии водоотведения. Прогнозировать эту аварию, и, соответственно, определять модуль деформации покровных суглинков при их замачивании фекальными стоками, не было предусмотрено заданием на изыскания, как не предусмотрены проявления многих других маловероятных обстоятельств. Здание было поднято, и его вертикальная ось выведена на необходимое для монтажа лифтов положение методом инъекций песчано-цементного раствора, выполненных сотрудниками ООО «Геомассив». В данном случае к дорогостоящим дополнительным работам привела вера проектировщиков в число и формулы. Имеются в виду численное значение модуля деформации суглинков и формула расчета осадки методом послойного суммирования и пренебрежение качественным прогнозом инженеров геологов, который по приведенным выше материалам С.Н. Сотникова следует считать предпочтительным.

Рассмотрим еще один пример, в котором также слепая вера в число и формулу привела к неоднократным осадочным деформациям здания. В 1990 г. авторы настоящей статьи исследовали причины возобновляемых осадочных деформаций 4-х этажного корпуса общежития технического училища им. цесаревича Алексея в г. Егорьевске. Здание было построено в первые послевоенные годы на ленточном фундаменте,

заложенном в 1941 г. На фасаде здания на всю его высоту имелась сквозная, извилистая, но в целом вертикальная трещина отрыва. Внутри здания она пересекала стены и перекрытия со смещением полов на несколько сантиметров. В задании на обследование здания было указано, что трещина возникла в процессе строительства, была заделана перед сдачей объекта заказчику. Трещина возобновилась после трех лет эксплуатации. Вновь была заделана и возобновилась третий раз через 40 лет после постройки здания. В момент обследования в подвале стояла вода слоем 10–15 см. Здание было подтоплено.

Бурением и шурфами было установлено, что здание общежития Егорьевского технического училища стоит на флювиогляциальных отложениях. Одна половина основания представлена суглинком. Другая половина – песком. Модули деформации песков и суглинков в условиях подтопления существенно различались, так как суглинки при замачивании стали более податливы к деформациям. По аналогии с соседними участками можно заключить, что до замачивания они обладали близким значениями модуля общей деформации, примерно $E = 18$ МПа. Очевидно по этой причине они в проекте при расчете осадки были объединены в один расчетный геологический элемент. Поэтому здание по проекту должно было иметь одинаковую осадку во всех частях.

При этом не было учтено, что пески как упругая среда сжимаются от нагрузки в процессе строительства, тогда как пластичные суглинки деформируются медленно и длительно во времени. Уже в ходе строительства здания пески фактически прекратили полностью деформироваться под его нагрузкой. Лежащая на песках часть здания осела на расчетную величину, тогда как суглинки в процессе строительства не набрали расчетную деформацию. Потому над границей песков и суглинков к концу строительства появилась осадочная трещина. Ее заделали, и сдали дом в эксплуатацию. Через три года осадка половины здания, расположенной на суглинках, завершилась. Поэтому на фасаде здания вновь проявилась трещина. В третий раз трещина возникла после подтопления основания, когда деформационная способность суглинков возросла, и стоящая на них половина здания дополнительно осела. Было сделано заключение, что в четвертый раз трещина не возобновится, так как грунты полностью уплотнены в условиях замачивания.

ВЫВОДЫ

Приведенные примеры показывают, что расчет осадки по методу послойного суммирования без прогноза воздействий на основание в процессе строительства и эксплуатации зданий приводит к грубым ошибкам прогноза, которые обра-

чиваются для застройщика новыми расходами на укрепление оснований, фундаментов, иногда и несущих конструкций, а также ремонт фасадов.

В динамической геологии инженерно-геологический процесс сжатия (осадки) грунтов основания и осадки зданий и сооружений давно выпал из внимания исследователей. Расчеты методом послойного суммирования не обеспечивают требуемой точности и существенным образом расходятся с фактически наблюдаемыми осадками.

Проектирование современных зданий и сооружений диктует необходимость рассмотрения изыскателями и геотехниками осадки грунтов основания как многофакторного интегрального инженерно-геологического процесса и на основании этого разработки надежной методики расчета осадок различных по составу и состоянию грунтов основания сооружений в процессе строительства, эксплуатации и других техногенных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый Л.Д., Попов В.В.* Инженерная геология. Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1975. 312 с.
2. *Денисов Н.Я.* Инженерная геология. М.: Госстройиздат, 1960. 404 с.
3. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / Под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина М.: МГУ, 2013. 816 с.
4. Инженерно-геологический словарь / А.Д. Потапов, И.Л. Ревелис, С.Н. Чернышев. М.: ИНФРА-М, 2019. 336 с.
5. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Ленинград: Недра, 1977. 479 с.
6. *Попов И.В.* Инженерная геология. М.: Госгеолиздат, 1951. 443 с.
7. Природоведческий словарь для строителей / Авт.-сост. Теличенко В.И. и др. Под ред. А.А. Лаврусевича. М.: НИУ МГСУ, 2016. 512 с.
8. *Сотников С.Н.* Строительство и реконструкция фундаментов зданий и сооружений на слабых грунтах: дис. ... док. тех. наук: 05.23.02. Ленинград, 1986. 440 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01008564495>
9. Терминологический словарь-справочник по инженерной-геологии/ Сост. Пашкин Е.М., Коган А.А., Кривоногова Н.Ф., под ред. Е.М. Пашкина. М.: КДУ, 2011. 952 с.
10. *Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В., Тер-Мартirosян З.Г., Чернышев С.Н.* Механика грунтов основания и фундаменты. М.: АСВ, 1994. 527 с.
11. *Чернышев С.Н., Мартынов А.М.* Влияние погрешности инженерно-геологических изысканий на точность расчета осадки одиночного фундамента // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 5. С. 81–85.
12. *Чернышев С.Н., Мартынов А.М.* Осадка – многофакторный инженерно-геологический процесс // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 81–86.

ONCE AGAIN ABOUT THE SETTLING OF FOUNDATION SOIL AS A MULTIFACTORIAL INTEGRATED ENGINEERING GEOLOGICAL PROCESS

S. N. Chernyshev^{a,*}, P. I. Kashperyuk^{b,##}, and A. M. Martynov^{c,###}

^a *National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Yaroslavskoye shosse, 26, Moscow, 129337 Russia*

^b *Scientific and Production Co. Special Surveys for High-rise Construction Ltd. Arkhitekтора Vlasova ul., 45a, Moscow, 117393 Russia*

^c *Moscow United Energy Company JSC "MOEK-Project", Nizhnyaya Krasnosel'skaya ul., 28, str. 2, Moscow, 105066 Russia*

**e-mail: 9581148@list.ru*

##*e-mail: npf-sivs@yandex.ru*

###*e-mail: martynov30am@gmail.com*

The article substantiates the need to consider the foundation soil settlement under any engineering structure not as a vertical displacement of the structure due to compression, compaction or other changes in the rocks lying at its base, but as a multifactorial integral engineering geological process associated with vertical subsidence of soil in the base of buildings and structures due to a decrease in soil volume upon its deformation under load or changes (deterioration) of its strength and deformation properties in the process of natural and technogenic effects. For the first time, S.N. Sotnikov's graph of the inaccuracy in calculating the settlement of the foundation soil, calculated by the method of layer-by-layer summation to that actually observed is published. It is noted that the estimated predicted settlement of foundation soils provided by the project for weakly compressible soils, as a rule, is 40–60% higher than actual ones, and for strongly compressible soils, actual settlement may be several times higher than the calculated one. The authors explain such a discrepancy by the mechanical approach to modeling the settlement of foundation soils, whereas it is rather a multifactor engi-

neering geological process variable in space and time. A number of examples in various regions of the country show a wide range of different natural geological and technogenic processes that affect the unevenness, size and duration of settling of foundation soils under various buildings and structures. Examples of management and regulation of these processes are given.

Keywords: *ground settling, foundation soils, process control, calculation error, parameters of geotechnical conditions, forecast of actual settlement*

REFERENCES

1. Belyi, L.D., Popov, V.V. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology]. Textbook for high schools. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975, 312 p. (in Russian)
2. Denisov, N.Ya. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1960, 404 p. (in Russian)
3. *Inzhenernaya geologiya Rossii. T.2. Inzhenernaya geodinamika territorii Rossii* [Engineering geology of Russia. Vol. 2. Engineering geodynamics of Russia]. Trofimov, V.T., Kalinin, E.V., Eds. Moscow, MGU Publ., 2013, 816 p. (in Russian)
4. *Inzhenerno-geologicheskii slovar'* [Engineering geological dictionary]. Potapov, A.D., Revelis, I.L., Chernyshev, S.N., Eds. Moscow, INFRA-M Publ., 2016, 336 p. (in Russian)
5. Lomtadze, V.D. *Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika* [Engineering geology. Engineering geodynamics]. Leningrad, Nedra Publ., 1977, 479 p. (in Russian)
6. Popov, I.V. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology]. Moscow, Gosgeolizdat Publ., 1951, 443 p. (in Russian)
7. *Prirodovedcheskii slovar' dlya stroitelei* [Natural history dictionary for builders]. Lavrusevich, A.A., Ed., Moscow, NIU MGSU Publ., 2016, 512 p. (in Russian)
8. Sotnikov, S.N. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya fundamentov zdaniy i sooruzhenii na slablykh gruntakh. Diss....dokt. tekhn. nauk* [Construction and reconstruction of foundations of buildings and engineering structures on weak soils. Doctoral (Techn.) Dissertation]. Leningrad, 1986, 440 p. (in Russian)
9. *Terminologicheskii slovar'-spravochnik po inzhenernoi geologii* [Terminological dictionary and reference book on engineering geology]. Pashkin, E.M., Ed. Moscow, KDU Publ., 2011, 952 p. (in Russian)
10. Ukhov, S.B., Semenov, V.V., Znamenskii, V.V., Ter-Martirosyan, Z.G., Chernyshev, S.N. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty* [Mechanics of basement soils and foundations]. Moscow, ACB Publ., 1994, 527 p. (in Russian)
11. Chernyshev, S.N., Martynov, A.M. *Vliyanie pogreshnosti inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy na tochnost; rascheta osadki odinochnogo fundamenta* [The influence of engineering and geological survey errors on the accuracy of calculating the settlement of an isolated foundation]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 5, pp. 81–85. (in Russian)
12. Chernyshev, S.N., Martynov, A.M. *Osadka- mnogofaktornyi inzhenerno-geologicheskii protsess* [Settlement as a multifactor engineering geological process]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 6, pp. 65–69. (in Russian)