

Мищенко Ксения Валерьевна

Студент ФГБОУ ВО

«Красноярский институт железнодорожного транспорта»

филиал ИрГУПС в г. Красноярск

Mishchenko Kseniya Valeryevna

Преснов Олег Михайлович.

Научный руководитель, к.е.н. доцент ФГБОУ ВО

«Красноярский институт железнодорожного транспорта»

филиал ИрГУПС в г. Красноярск

Presnov Oleg Mikhailovich

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ СКЛОНОВ И БЕРЕГОВЫХ ЛИНИЙ

***Аннотация.** Исследование посвящено проблеме деформаций зданий, возводимых в сложных геотехнических условиях — на склонах и вдоль береговых линий при высокой плотности застройки. Рассматриваются основные факторы, провоцирующие осадки и деформации фундаментов: гидрогеологические особенности территорий, интенсивность освоения прибрежных зон, влияние соседних сооружений. Анализируется российская практика строительства на сложных рельефах — от черноморского побережья до берегов крупных рек. Показано, что совокупность природных и антропогенных факторов требует комплексного геотехнического мониторинга и применения специализированных конструктивных решений. Предложены направления совершенствования нормативной базы и методов проектирования.*

***Ключевые слова:** деформации зданий, склоновая застройка, береговая линия, геотехнический мониторинг, плотная застройка, осадки фундаментов, инженерная защита.*

Building Deformation in Dense Development Conditions on Slopes and Coastlines

Annotation. *The study addresses the problem of building deformations in complex geotechnical conditions — on slopes and along coastlines with high development density. The main factors provoking foundation settlements and deformations are examined: hydrogeological features of territories, intensity of coastal zone development, influence of neighboring structures. Russian construction practice on complex terrains is analyzed — from the Black Sea coast to the banks of major rivers. It is shown that the combination of natural and anthropogenic factors requires comprehensive geotechnical monitoring and application of specialized structural solutions. Directions for improving regulatory framework and design methods are proposed.*

Keywords: *building deformations, slope development, coastline, geotechnical monitoring, dense development, foundation settlements, engineering protection*

Освоение прибрежных территорий и склоновых участков традиционно сопровождается повышенными геотехническими рисками. В России эта проблема особенно остро проявляется в Краснодарском крае, Крыму, Приморье, а также вдоль берегов Волги, Оки и других крупных рек. Плотность застройки здесь неуклонно растёт — с 2022 года количество новых объектов в прибрежных зонах южных регионов увеличилось на 27% [1].

Склоновые территории характеризуются неоднородным залеганием грунтов. Нередко верхние слои представлены насыпными или техногенными отложениями мощностью до 4–5 метров. Ниже залегают суглинки, супеси или глины с различными показателями пластичности. Ситуация осложняется наличием грунтовых вод, уровень которых может существенно колебаться в зависимости от сезона и интенсивности осадков [2].

На побережьях картина ещё более неоднородная. Береговая линия подвержена размыву, особенно в периоды паводков и штормов. В Сочи, например, берегоукрепительные сооружения периодически требуют реконструкции — их техническое состояние напрямую влияет на устойчивость близлежащих зданий. Если берегоукрепление ослаблено, грунт под фундаментами начинает смещаться к воде. Зафиксированы случаи, когда за три года эксплуатации здание получало крен до 15 мм/м из-за подмыва основания [3].

Важно учитывать и сейсмическую активность. Многие южные регионы относятся к зонам с сейсмичностью 7–9 баллов. При этом даже небольшие деформации грунта в обычных условиях могут многократно усилиться при сейсмическом воздействии. Это ставит вопрос о необходимости одновременного учёта статических и динамических нагрузок [4].

Ещё один фактор — плотность застройки. Когда на небольшом участке склона или прибрежной полосы возводится несколько зданий одновременно, возникает эффект взаимного влияния фундаментов. Нагрузка от одного здания передаётся через грунт на соседнее. Если расстояние между объектами меньше

двойной ширины фундамента, зоны напряжений перекрываются. Это приводит к дополнительным осадкам, которые проектировщики не всегда закладывают в расчёт [5].

Механизмы развития деформаций при совместном действии природных и техногенных факторов

Деформации зданий в рассматриваемых условиях развиваются по нескольким сценариям. Один из наиболее распространённых — неравномерная осадка фундамента. Она возникает, когда различные части основания сжимаются с разной скоростью. На склонах это часто связано с тем, что верхняя и нижняя части здания опираются на грунты с разными характеристиками.

Представим типичную ситуацию: девятиэтажный жилой дом строится на склоне крутизной 12 градусов. Верхняя часть фундамента опирается на плотные суглинки, нижняя — на насыпной грунт, уплотнённый недостаточно. Уже через год эксплуатации нижняя часть здания проседает на 35 мм больше, чем верхняя. В несущих стенах появляются трещины, оконные проёмы деформируются. Жильцы фиксируют, что двери перестают закрываться [6].

Другой механизм — сползание грунтового массива. Когда на склоне идёт активное строительство, срезается растительный слой, изменяется естественный рельеф. Дождевые и талые воды начинают стекать иначе, насыщая грунт влагой. Увеличивается вес массива, снижается его прочность. В результате возникает медленное сползание — порядка 2–5 см в год. Казалось бы, незначительная величина. Но за пять лет накапливается до 25 см смещения, что критично для любого здания [7].

На береговых участках к этому добавляется подмыв. Волны и течения размывают грунт у основания склона или берегового откоса. Постепенно формируется «карман» — полость под фундаментом. Здание теряет опору и начинает крениться в сторону воды. Особенно опасны паводковые периоды. Весной 2023 года на одном из участков Волги уровень воды поднялся на 1,8 метра выше обычного. Три прибрежных коттеджа получили крены от 8 до 12 мм/м за две недели.

Техногенный фактор усиливает природные процессы. Устройство котлованов для соседних зданий разгружает грунт, что вызывает его набухание или, наоборот, дополнительное сжатие. Забивка свай создаёт вибрацию, уплотняющую рыхлые слои и провоцирующую осадку уже эксплуатируемых объектов. В Севастополе в 2024 году при строительстве нового ЖК на склоне соседнее здание получило осадку 18 мм только за счёт динамического воздействия сваебойных работ .

Впрочем, эта закономерность прослеживается не во всех случаях. Когда грунты представлены скальными или полускальными породами, влияние соседнего строительства минимально. Проблема здесь в другом — неравномерность самого скального основания, наличие тектонических трещин и зон выветривания. Обнаружить их на стадии изысканий удаётся не всегда.

Методы прогнозирования и минимизации деформаций в практике проектирования

Традиционный подход к расчёту осадок — по методике СП 22.13330.2016 — оказывается недостаточным для сложных геотехнических условий. Расчёт ведётся для однородного основания с усреднёнными характеристиками. На склонах и у береговых линий такое допущение даёт существенную погрешность. Необходимо численное моделирование с учётом реального распределения грунтовых слоёв, изменения нагрузок во времени, влияния соседних объектов.

Один из эффективных инструментов — метод конечных элементов в трёхмерной постановке. Он позволяет построить модель участка застройки с детализацией до полуметра по глубине. В модель вносятся данные инженерно-геологических изысканий: мощность слоёв, модули деформации, углы внутреннего трения, коэффициенты водонасыщения. Затем имитируется поэтапное возведение здания — от нулевого цикла до завершения строительства. Программа рассчитывает развитие напряжений и деформаций на каждом этапе.

Результаты моделирования нередко оказываются неожиданными. В одном из проектов на Черноморском побережье расчёт показал, что максимальная осадка произойдёт не в центре здания, как предполагалось, а в его боковой части,

примыкающей к существующей постройке. Причина — перекрытие зон влияния фундаментов. Пришлось скорректировать проект: усилить фундамент в этой зоне дополнительными сваями длиной 18 метров.

Помимо расчётов важен геотехнический мониторинг. На участках повышенной ответственности устанавливаются марки и реперы, фиксирующие осадки. Измерения проводятся не реже одного раза в месяц на этапе строительства и не реже одного раза в квартал в период эксплуатации. Критические значения осадок — более 10 мм за месяц — служат сигналом к проведению дополнительных обследований.

Любопытный опыт накоплен в Сочи. Там при строительстве на склонах практикуют устройство террасирования с подпорными стенами. Склон разбивается на несколько уровней, каждый из которых укрепляется. Подпорные стены воспринимают давление грунта и предотвращают его сползание. Между террасами устраиваются дренажные системы, отводящие поверхностные и грунтовые воды. Это снижает нагрузку на основание и уменьшает риск оползней.

Ещё один подход — применение свайных фундаментов с заглублением в устойчивые слои. Если слабые грунты залегают на глубину до 8–10 метров, сваи проходят их насквозь и опираются на плотные суглинки или коренные породы. Длина свай в таких проектах достигает 25–30 метров. Это существенно удорожает строительство — стоимость свайного поля может составить до 18% от сметы нулевого цикла, — но гарантирует устойчивость здания.

Практика, однако, демонстрирует иное: не всегда длинные сваи решают проблему. Если сваи расположены с большим шагом, между ними остаются участки слабого грунта, который продолжает деформироваться. Возникает так называемая «негативная осадка», когда грунт оседает относительно свай, создавая дополнительные нагрузки на ростверк. Поэтому оптимальное расстояние между сваями не должно превышать четырёх диаметров.

В ряде случаев используется укрепление грунта. Инъекционные технологии — цементация, силикатизация, смолизация — позволяют увеличить прочность и снизить сжимаемость грунтового массива. Стоимость таких работ

составляет от 3500 до 8000 рублей за кубометр обработанного грунта. Это дорого, но оправдано, когда речь идёт о реконструкции исторических зданий или объектах со сложной конфигурацией.

Регуляторные и организационные аспекты обеспечения безопасности застройки

Нормативная база в России пока не в полной мере учитывает специфику плотной застройки на склонах и у береговых линий. СП 22.13330.2016 и СП 116.13330.2012 содержат общие требования к проектированию оснований, но не дают чётких рекомендаций для случаев взаимного влияния зданий. Необходима разработка отдельного свода правил или раздела, посвящённого геотехническому проектированию в стеснённых условиях.

Стоит упомянуть опыт Краснодарского края. Там в 2023 году принят региональный стандарт, обязывающий застройщиков проводить комплексный геотехнический мониторинг при строительстве в прибрежных зонах и на склонах с крутизной более 8 градусов. Мониторинг должен вестись не только на объекте строительства, но и на соседних участках в радиусе двойной высоты возводимого здания. Это позволяет своевременно выявлять негативные последствия и корректировать проектные решения.

Однако внедрение таких требований сталкивается с сопротивлением застройщиков. Дополнительные изыскания и мониторинг увеличивают сроки проектирования на 2–3 месяца и удорожают проект на 4–7%. Многие компании стремятся минимизировать эти затраты, ограничиваясь формальным выполнением требований. В итоге качество исходных данных оказывается недостаточным для надёжного прогноза.

Картина здесь неоднородная. Крупные федеральные застройщики, работающие на южном рынке, как правило, выделяют средства на полноценные изыскания. Локальные компании, возводящие малоэтажные комплексы, нередко пренебрегают детальными исследованиями. Отсюда различия в качестве строительства: объекты крупных игроков реже демонстрируют критические деформации.

Ещё одна проблема — недостаточная координация между проектировщиками соседних объектов. Когда на одном участке застройки работают несколько компаний, каждая ведёт изыскания независимо. Данные не обобщаются, модели не согласуются. В результате общая картина напряжённо-деформированного состояния грунтового массива остаётся неясной. Возможно, следует внедрить практику совместных геотехнических экспертиз для крупных многофункциональных проектов.

Организационный аспект не менее важен. Строительный контроль должен включать регулярные проверки соблюдения проектных решений — качества уплотнения грунта, соответствия свай проекту, работы дренажных систем. В 2024 году в Приморье выявлено три случая, когда подрядчик самовольно сократил длину свай на 4–6 метров. Это не было обнаружено сразу, а проявилось лишь через полгода эксплуатации, когда здание начало проседать.

Здесь стоит сделать оговорку: даже при соблюдении всех норм и правил полностью исключить деформации невозможно. Грунт — материал живой, реагирующий на множество факторов. Речь идёт не столько о том, чтобы избежать деформаций вообще, сколько о том, чтобы удерживать их в пределах допустимых значений и обеспечить равномерность осадки.

Заключение

Строительство зданий на склонах и вдоль береговых линий в условиях высокой плотности застройки требует комплексного подхода, объединяющего детальные инженерно-геологические изыскания, численное моделирование, специализированные конструктивные решения и непрерывный геотехнический мониторинг. Российский опыт показывает, что игнорирование хотя бы одного из этих элементов многократно повышает риск недопустимых деформаций.

Ключевая проблема современной практики — недостаточная координация между участниками строительного процесса и отсутствие единой методологии для оценки взаимного влияния зданий. Существующая нормативная база нуждается в дополнении разделами, регламентирующими проектирование в стеснённых геотехнических условиях. Региональный опыт Краснодарского края по введению обязательного комплексного мониторинга заслуживает распространения на федеральный уровень.

Практическая значимость исследования состоит в систематизации факторов, провоцирующих деформации, и обосновании необходимости перехода от усреднённых расчётных схем к трёхмерному численному моделированию. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку типовых решений для различных сочетаний геологических условий и параметров застройки, создание баз данных мониторинга существующих объектов, а также на совершенствование методов прогнозирования долговременных деформаций с учётом климатических изменений и антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Гридасов Г.А., Петров В.Н. Анализ деформаций зданий на склоновых территориях Южного федерального округа // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2024. № 3. С. 12–18. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54382917> (дата обращения: 15.04.2026).
2. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М.: Минстрой России, 2016. 225 с.
3. Чернышев С.Н., Коновалов П.А. Деформации берегоукрепительных сооружений и их влияние на прибрежную застройку // Гидротехническое строительство. 2024. № 2. С. 45–52.
4. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.Н. Современные свайные технологии. М.: Изд-во АСВ, 2022. 480 с.
5. Шулятьев О.А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: Изд-во АСВ, 2023. 392 с.
6. Козлов Д.В. Геотехнический мониторинг при уплотнительной застройке прибрежных зон // Жилищное строительство. 2023. № 7. С. 34–39. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53947261> (дата обращения: 15.04.2026).
7. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2022. 551 с.