

05.23.02 ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Причины и последствия подтопления городских и промышленных территорий грунтовыми водами (на примере г. Пензы)

УДК 69.04

Хрянина О.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: olgahryanina@mail.ru

Круглова М.А.

Бакалавр кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: kruglovamaria58@mail.ru

Куряева А.М.

Бакалавр кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: kuryaeva01@inbox.ru

Радаев В.А.

Бакалавр кафедры «Геотехника и дорожное строительство», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза); e-mail: radaeff.volodya@yandex.ru

Статья получена: 28.11.2019. Рассмотрена: 30.11.2019. Одобрена: 28.12.2019. Опубликовано онлайн: 31.12.2019. ©РИОР

Аннотация. Рассматриваются возможные источники и факторы подтопления территорий. Выявлены последствия подтопления городских и промышленных территорий грунтовыми водами. Предложены современные технические решения по инженерной защите территорий от подтопления.

Ключевые слова: подтопление, грунтовые воды, факторы подтопления, методы инженерной защиты.

Первые сведения о подтоплении территории городов в нашей стране появились в конце 30-х гг. XX в. В связи с ростом промышленного, гражданского и мелиоративного строительства процессы подтопления стали наблюдаться во все больших масштабах. Подтоплению начали подвергаться различные по характеру застройки территории, сложенные главным образом, слабопроницаемыми грунтами. Эта территория небольших населенных пунктов

OPTIMIZING THE SAND CUSHION

Olga Hryanina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Geotechnics and Road Construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: olgahryanina@mail.ru

Maria Kruglova

Bachelor's Degree Student, Department "Geotechnics and Road Construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: kruglovamaria58@mail.ru

Adilya Kuryaeva

Bachelor's Degree Student, Department "Geotechnics and Road Construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: kuryaeva01@inbox.ru

Vladimir Radaev

Bachelor's Degree Student, Department "Geotechnics and Road Construction", Penza State University of Architecture and Construction, Penza; e-mail: radaeff.volodya@yandex.ru

Manuscript received: 28.11.2019. **Revised:** 30.11.2019. **Accepted:** 28.12.2019. **Published online:** 31.12.2019. ©RIOR

Abstract. Possible sources and factors of flooding of territories are considered. The consequences of flooding of urban and industrial areas with groundwater have been identified. Modern technical solutions for the engineering protection of territories from flooding are proposed.

Keywords: flooding, groundwater, flooding factors, engineering protection methods.

те уменьшается модуль деформации и сопротивление сдвигу грунтов.

Увлажнение просадочных лессовидных грунтов сопровождается осадкой их под действием собственного веса, веса зданий и сооружений. В этих случаях пористость и коэффициент пористости увеличиваются. Вместе с этим возрастает и их коэффициент фильтрации.

Снижение уровня грунтовых вод при применении различных методов борьбы с подтоплением приводит к уплотнению рыхлых грунтов, а следовательно, к уменьшению их пористости и коэффициента фильтрации.

При увлажнении глинистых пород происходит их набухание. Последнее сопровождается уменьшением объемной массы, повышением пористости и снижением модуля общей деформации.

На площадках промышленных предприятиях инфильтрация технологических вод с высокой температурой приводит к повышению температуры грунтов и увеличению их водопроницаемости.

На территории многих городов России наблюдается просадка лессовых грунтов от действия их собственного веса. Общее для развития таких просадок — то, что их интенсивность определяется просадочностью нижних слоев грунта и скоростью подъема уровня грунтовых вод. Интенсивность просадок неравномерна как в плане, так и по разрезу толщи лессовых грунтов.

Способностью к усадке обладают и лессовидные суглинки. Последнее наблюдается в городах, где влажность уменьшается в пределах 3,5–4%, т.е. от 15–16% до 11–12%. В наибольшей степени усадочные деформации проявляются при значительных градиентах влажности, создающихся в грунтах под внутренними и внешними опорами зданий. Помимо этого, анизотропия влажности обнаруживается и за счет высыхания грунта снаружи здания и сохранения первоначальной высокой влажности под внутренними стенами без в подвальных зданиях, а также при расположении котельных и теплотрасс в подвалах.

Строительство промышленных объектов и городов на слабопроницаемых грунтах приводит к существенному изменению не только гидродинамического, но и гидрохимического режима грунтовых вод. Это связано с тем, что ин-

фильтрующиеся в грунт производственные воды и промышленные стоки многих предприятий содержат в значительных количествах загрязняющие компоненты как органического, так и неорганического происхождения.

Как показывает практика, в городах, где развиты различные отрасли промышленности в наибольших масштабах, загрязняются грунтовые воды в результате потери воды из хвостовых и шламохранилищ, гидрозолоотвалов, прудов-отстойников, аварийных емкостей и других типов промышленных бассейнов.

Наряду с технологическими водами, отходами и стоками промышленных производств, грунтовые воды городских территорий загрязняются также инфильтрующимися в грунт из канализационных сетей хозяйственно-бытовыми сточными водами, которые содержат белки, продукты их распада, бактерии и др.

Для очистки и обезвреживания такого типа сточных вод устраивают коммунальные и земельно-сельскохозяйственные поля орошения и фильтрации. При эксплуатации подобных сооружений нередко нарушаются нормы использования их очистительной способности, что приводит к снижению степени обезвреживания бытовых сточных вод.

Многие компоненты, содержащиеся в промышленных стоках различных предприятий, химически активны. При инфильтрации стоков в грунт они вступают с ними в реакцию, выщелачивая легкорастворимые соединения (карбонатные, сульфатные и хлоридные). В результате этого увеличивается пористость грунтов, образуются суффозионные просадки, повышается минерализация грунтовых вод. Изменения в химическом составе грунтовых вод на подтопленных территориях происходят в двух направлениях:

- 1) минерализация и обогащение грунтовых вод различными компонентами повышается при инфильтрации в грунт технологических вод, промышленных стоков и вымывание из грунта солей;
- 2) в случае потерь пресных вод из подземных водоводов и водонесущих сооружений происходит понижение минерализации.

Первое направление в наибольших масштабах развито на подтопленных площадках промышленных предприятий.

Вместе с общим повышением минерализации грунтовых вод на городских территориях проявляется также тенденция ее увеличения по мере приближения к поверхности, т.е. к местам, где размещены источники потерь воды различного назначения и промстоков. Во многих городах увлажнение грунтов — главная причина возникновения деформаций зданий и сооружений, которые приносят большой материальный ущерб. При этом деформации могут быть вызваны, главным образом, просадкой грунтов или их набуханием. Они наблюдаются в одно- и многоэтажных зданиях и сооружениях, построенных из кирпича, бутобетона и железобетонных блоков как на ленточных, так и на отдельно стоящих фундаментах и свайных основаниях. Деформированию подвергаются стены, перекрытия, лестницы, колонны и другие конструкции зданий и сооружений.

Установлено, что во многих районах страны деформации зданий и сооружений на просадочных грунтах возникают постепенно или внезапно в зависимости от характера изменения режима влажности грунтов их оснований.

Таким образом, повышение уровня грунтовых вод на застроенных территориях, загрязнение их химическими компонентами, агрессивными к бетону и металлическим конструкциям, влечет за собой необходимость решения следующих проблем:

- 1) защита подвальных помещений различного назначения от подтопления грунтовыми водами;
- 2) защита бетона, фундаментов и металлических конструкций подземных помещений, трубопроводных систем, систем водоснабжения и теплофикации от коррозии;
- 3) защита грунтов оснований под фундаментами зданий и сооружений от возможных просадочных деформаций и набухания;
- 4) использование грунтовых вод, откачиваемых подземными дренажными устройствами;
- 5) охрана природных водных ресурсов района городской территории, защищаемой от подтопления;
- 6) сохранение благоприятного санитарно-гигиенического состояния на территории города.

Сложность решения этих проблем требует привлечения не только проектных, но и в ряде случаев научно-исследовательских организаций.

Современные технические решения по инженерной защите застроенных территорий от подтопления

Повышение уровня грунтовых вод на городских и промышленных территориях приводит к нарушению условий, необходимых для нормальной эксплуатации зданий и сооружений. Поэтому эти территории нуждаются в инженерной защите от подтопления грунтовыми водами. Защитные мероприятия проводятся с целью общего или локального (для защиты отдельных зданий, сооружений, коммуникаций) понижения уровня грунтовых вод на городских территориях. Характер этих мероприятий определяется геолого-гидрогеологическими условиями, формой и размерами защищаемой территории, типом и плотностью застройки, размерами подземных конструкций зданий. Мероприятия по общему понижению уровня грунтовых вод проводятся там, где сосредоточено большое число зданий и сооружений, нуждающихся в инженерной защите от подтопления. К таким мероприятиям относятся устройства головных, береговых или систематических дренажей горизонтального и вертикального типов. Так, береговой дренаж устраивают в целях инженерной защиты от подтопления со стороны водотока или водохранилищ. Для перехвата грунтовых вод, поступающих со стороны водораздела, оборудуют головной дренаж. Систематический дренаж горизонтального типа применяют при небольшой плотности застройки, хорошей водопроницаемости грунтов, наличии распределенного инфильтрационного питания грунтовых вод и небольшой мощности водоносного горизонта, а вертикального типа — при большой его мощности и высокой плотности застройки. Для предотвращения поступления грунтовых вод на застроенные территории со стороны водохранилища, хвостов и шламоохранилища, рек и других водоемов могут применяться также контурные противофильтрационные завесы, которые должны доводиться до водоупорного слоя дренируемого водоносного горизонта, т.е. гидродинамически быть совершенными.

Локальную защиту зданий и сооружений применяют на тех городских территориях, где мероприятия по их общей защите от подтопления

грунтовыми водами не могут быть осуществлены, особенно в условиях их сложения грунтами с низкими фильтрационными свойствами и малой водоотдачей. Для этих целей осуществляют строительство горизонтальных (однолинейных, дуилинейных и кольцевых) и вертикальных дренажей, а также противофильтрационных завес.

Там, где обычные способы осушения не обеспечивают требуемого понижения уровня грунтовых вод или снижения влажности грунтов, применяют специальные способы осушения. К ним относятся вентиляционный дренаж, вакуумирование, электроосмотическое осушение и биодренаж.

Допустимая глубина грунтовых вод на застроенных территориях

Подтопление городских территорий связывают с подъемом на них уровня грунтовых вод. Территория считается подтопленной, если глубина залегания уровня грунтовых вод на ней оказывается выше, чем допустимая минимальная глубина залегания грунтовых вод для конкретного типа застройки или другого вида использования территории (табл. 1).

Таблица 1

Допустимая минимальная глубина залегания уровня грунтовых вод для некоторых видов застройки городских территорий

Вид застройки	Глубина залегания УГВ, м
Здания и сооружения с подвальными помещениями	0,5–1 м от пола подвала
Здания и сооружения без подвалов	0,5 от подошвы фундамента
Проезжая часть улиц, площадей	0,5 м и более от подстилающего слоя дорожной одежды
Овощехранилище	4,5
Древесные насаждения (парки)	1–2
Газоны	0,5–1
Стадионы	0,5–1

Согласно [8] норму осушения на застроенной территории, т.е. глубину залегания на ней уровня грунтовых вод в метрах, считая от проектной отметки поверхности территории, принимают в зависимости от характера застройки.

На большей части города Пензы подземные воды вскрываются буровыми скважинами на глубинах от 0,5–1,5 м до 3–5 м, на отдельных

участках — до 7–10 и более метров. Прогнозная оценка изменений уровней подземных вод проводится за период 10–20 лет с учетом существующей и перспективной гражданской и промышленной застройки, путем построения и сопоставления по годам карт гидроизобат (глубин залегания уровней грунтовых вод) и разбивкой площадей на зоны по интервалам глубин 0–0,5; 1–2; 2–4; 4–7; 7–10 м. Исходя из опыта заложения фундаментов и заглубленных помещений, средние значения критических подтопляющих уровней для гражданской застройки г. Пензы составляют 2,5 м, для промышленной — 4,0 м, а для частной — 2,0 м.

В первые десятилетия эксплуатации зданий грунтовые и подземные воды поднимаются как на подтопляемых, так и на неподтопляемых территориях со скоростью 0,1–0,3 м/год. Фактическая же скорость, по данным в нескольких парных скважинах на различных участках, колебалась от 0,17 м до 0,5 м в год в разное время. Сегодня на подтопляемых территориях уровень грунтовых и подземных вод — 2 м и меньше.

По характеру подтопления территория города разделена на подтопленную и неподтопленную. Особенно интенсивно поднимаются воды по всему правобережью Суры, за исключением Ахун, и половине левобережья: Южная Поляна, части территорий Арбекова, Терновки, центра. Участки высоких водоразделов Западной Поляны, Северной Поляны и некоторых районов в Арбеково отнесены к потенциально неподтопляемым.

К постоянно подтопленной зоне, с учетом весеннего подъема вод на 1,0 м, относятся участки:

- с гражданской и промышленной застройкой в зонах глубин 0–2 м;
- с гражданской застройкой в зоне глубин 2–4 м;
- временно подтопленные.

Для просадочных лессовых грунтов, подстилаемых плотными коренными породами, техногенное подтопление впервые 5–10 лет может достигнуть 0,5–1,0 м ниже поверхности земли (район Арбеково). При близком залегании водоупорных грунтов подтопление возможно за 1–2 года для промышленных объектов и за 3–5 лет для жилой застройки.

Инженерно-производственные условия подтапливаемых территорий

На подтапливаемых городских территориях инженерно-производственные условия определяются типом и плотностью застройки территорий, конструкцией инженерных сооружений, характером производства, наличием подземных водонесущих сооружений, протяженностью подземных водонесущих коммуникаций, канализационных сетей и теплотрасс, величиной потребления воды предприятиями на 1 га их площади.

Инженерные сооружения различают по назначению, геометрическому виду, размерам и конструктивным особенностям. По назначению их подразделяют на промышленные, жилищно-гражданские, транспортные, гидротехнические и сельскохозяйственные. По геометрическому виду сооружения делят на линейные и площадные. К линейным сооружениям относят дороги, трубопроводы и другие коммуникации, а к площадным — комплексы сооружений промышленных предприятий и населенных мест.

К подземным частям зданий и сооружений, подвергающимся подтоплению грунтовыми водами, относят фундаменты и подвальные помещения, технические подполья, резервуары, теплотрассы, галереи, коллекторы, опускные колодцы насосных станций и др.

Любое строительство нарушает естественный водный баланс поверхностных и подземных вод. Стремительное увеличение темпов строительства и хозяйственное освоение территорий существенно изменили окружающую геологическую среду. Водный баланс поверхностных и подземных вод нарушился. Естественные стоки встречают на своем пути все больше и больше препятствий: фундаменты, особенно свайные (под многоэтажные дома сваи забивают на глубину до 12–15 м), всевозможные подземные коммуникации, полностью заасфальтированные площадки (вода не может просочиться), дороги и тротуары. Естественные дренажи засыпаны. За последние десятилетия техногенная нагрузка на геологическую среду города усилилась. Интенсивная застройка повлияла на подъем уровня грунтовых и подземных вод, которые на большей части города залегают на глубине 0–2 м, в некоторых местах — 4–7 м и лишь

в отдельных местах — на глубине 4–7 м. По-видимому, одна из главных причин — низкое качество производства работ по инженерной подготовке территорий к строительству водонесущих подземных коммуникаций, всевозможных связанных с ними подземных сооружений, нарушение правил их эксплуатации. Можно добавить, что лет 15–20 назад в Пензе при строительстве вообще не придавали особого значения этой проблеме, она считалась делом второстепенным. По-хорошему геологические изыскания должны проводиться перед началом любого строительства [9]. Это делалось в единичных случаях.

Выводы и рекомендации

С целью управления всей подземной гидросферой необходимо предусмотреть эффективные общегородские схемы защиты г. Пензы от подтопления грунтовыми водами, на основе которых проектировщики будут разрабатывать конкретные проекты для защиты отдельных зданий и сооружений.

По-видимому, все существующие водозащитные сооружения необходимо объединить в единый комплекс. Например, объединить имеющиеся водонесущие коммуникации с устройством систематического дренажа и вакуумированием. Необходимо разделить застраиваемые территории и уже застроенные. Во вновь застраиваемых территориях левобережной части города нужно сделать пластовые (горизонтальные) дренажи под всеми зданиями с отводом в ближайшие водоприемники, заключением водотоков в коллекторы с устройством сопутствующего дренажа. При освоении территорий на правобережной части города необходимо произвести подсыпку до неподтопляемых отметок и организовать на них систему водостоков для сброса поверхностных вод с отводом в ближайшие водоприемники. Воду необходимо отводить через специальные очистные сооружения, с устройством, где необходимо, насосных станций.

Проектировщики, по данным инженерных изысканий, проектируют нужную инженерную защиту города от подтопления. Эта система будет составной частью комплексной защиты города и от других опасных геологических процессов, формирующихся независимо от подтопления.

Литература

1. Попов В.К. Техногенное подтопление как фактор, влияющий на стабильное функционирование городов [Текст] / В.К. Попов, С.В. Серяков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2006. — № 2. — С. 131–137.
2. Куранов Н.П. Подтопление и дренирование застраиваемых и застроенных территорий [Текст] / Н.П. Куранов, Ю.Я. Криксунов, Э.М. Хохлатов // Водоснабжение и санитарная техника. — 2004. — № 2. — С. 34–37.
3. Никаноров А.М. Техногенное подтопление на территории юга России в Ростовской области [Текст] / А.М. Никаноров, О.Б. Барцев, Б.О. Барцев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2009. — № 1. — С. 94–104.
4. Богомолов А.Н. Прогноз подтопления лессовых территорий [Текст] / А.Н. Богомолов [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». — 2012. — № 28. — С. 304–324.
5. Шубин М.А. Исследование процесса подтопления застроенных территорий и разработка защитных мероприятий [Текст] / М.А. Шубин, А.М. Шубин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2010. — № 17. — С. 142–147.
6. Хрянина О.В. К вопросу о подтоплении территории [Текст] / О.В. Хрянина, Н.В. Кошкина, А.И. Мальков // Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2015. — С. 76–84.
7. Кошкина Н.В. Проблемы формирования грунтовых вод на застраиваемых территориях [Текст] / Н.В. Кошкина, О.В. Хрянина, М.В. Астафьев, А.А. Резник // Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2014. — С. 38–39.
8. СП 104.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85. Дата введения 2017-06-17.
9. Болдырев Г.Г. Комплексная технология инженерно-геологических изысканий [Текст] / Г.Г. Болдырев, В.А. Барвашов, И.Х. Идрисов, О.В. Хрянина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2017. — Т. 8. — № 3. — С. 22–33.

References

1. Popov V.K., Seryakov S.V. Tekhnogennoe podtoplenie kak faktor, vliyayushchij na stabil'noe funkcionirovanie gorodov [Technogenic flooding as a factor affecting the stable functioning of cities]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2006, I. 2, pp. 131–137.
2. Kuranov N.P., Kriksunov Yu.Ya., Hohlatov E.M. Podtoplenie i drenirovanie zastroivaemyh i zastroennyh territorij [Flooding and drainage of built-up and built-up areas]. *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary equipment]. 2004, I. 2, pp. 34–37.
3. Nikanorov A.M., Barcev O.B., Barcev B.O. Tekhnogennoe podtoplenie na territorii yuga Rossii v Rostovskoj oblasti [Technogenic flooding in the south of Russia in the Rostov region]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series]. 2009, I. 1, pp. 94–104.
4. Bogomolov A.N., Olyanskij Yu.I., Kiseleva O.V., Charykova S.A., Kuz'menko I.Yu. Prognoz podtopleniya lessovyh territorij [The forecast of flooding of loess territories]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2012, I. 28, pp. 304–324.
5. Shubin M.A., Shubin A.M. Issledovanie processa podtopleniya zastroennyh territorij i razrabotka zashchitnyh meropriyatij [Investigation of the process of flooding of built-up areas and the development of protective measures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]. 2010, I. 17, pp. 142–147.
6. Hryanina O.V., Koshkina N.V., Mal'kov A.I. K voprosu o podtoplenii territorii [To the issue of flooding of the territory]. *Aktual'nye problemy sovremennogo fundamentostroeniya s uchetom energosberegayushchih tekhnologij: materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Actual problems of modern foundation engineering taking into account energy-saving technologies: materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. Penza: PGUAS Publ., 2015, pp. 76–84.
7. Koshkina N.V., Hryanina O.V., Astaf'ev M.V., Reznik A.A. Problemy formirovaniya gruntovyh vod na zastroivaemyh territoriyah [Problems of groundwater formation in built-up areas]. *Aktual'nye problemy sovremennogo fundamentostroeniya s uchetom energosberegayushchih tekhnologij: materialy V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Actual problems of modern foundation engineering, taking into account energy-saving technologies: materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference]. Penza: PGUAS Publ., 2014, pp. 38–39.
8. SP 104.13330.2016 *Inzhenernaya zashchita territorii ot zatopeniya i podtopleniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.06.15-85. Data vvedeniya 2017-06-17* [SP 104.13330.2016 Engineering protection of the territory from flooding and flooding. Updated version of SNiP 2.06.15-85. Date of introduction 2017-06-17].
9. Boldyrev G.G., Barvashov V.A., Idrisov I.H., Hryanina O.V. Kompleksnaya tekhnologiya inzhenerno-geologicheskikh izyskanij [Integrated technology for engineering and geological surveys]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture]. 2017, V. 8, I. 3, pp. 22–33.