

Другое подтверждение косвенного влияния климатических условий, а именно увлажнения, на развитие оползневых процессов определяет тип ландшафта и характер растительности. Оползни Нижнего Поволжья развиваются в условиях семиаридного климата степных и сухостепных ландшафтов с разреженным и скудным растительным покровом. Древесная растительность, которая могла бы послужить естественным способом закрепления склонов, здесь либо практически отсутствует, либо есть в районе Волгоградской излучины в виде искусственных насаждений. Только на севере исследуемой территории, в пределах Щербаковской излучины Волги, на южном склоне долины реки Даниловки естественно произрастают отдельно стоящие березы. Это можно объяснить увеличением количества осадков по сравнению с более южными участками, а также наличием мощного сызранского водоносного горизонта, располагающегося близко от поверхности земли.

Температурный режим также не оказывает прямого воздействия на формирование оползней,

но определяет другие климатические показатели, например, устойчивость снежного покрова, глубину промерзания грунтов. На территории Волгоградского правобережья известны некоторые случаи проявления оползневых процессов при интенсивном снеготаянии, вызванном резким повышением температурных значений.

В результате проведенных нами исследований было выяснено, что в Нижнем Поволжье широкое распространение получили процессы оползнеобразования. При этом для их развития существуют многочисленные природные предпосылки: тектонические, геолого-геоморфологические, ландшафтно-климатические и другие. Необходимо отметить, что формирование оползней в последние сто лет происходит также и под влиянием антропогенного фактора, особенно в пределах Волгоградской излучины. Поэтому следует говорить о комплексе условий оползнеобразования, способствовавшем созданию на территории Нижнего Поволжья специфического эрозионно-оползневого ландшафта.

ЛИТЕРАТУРА

¹ Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геоэкологическое состояние / Волгоград: Перемена, 2011. 528 с.

² Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 310 с.

³ Шафиро Я. Ш., Аванисьян Г. М. Мезо-кайнозойская структура Волгоградского Поволжья и ее соотношение с девонским региональным структурным планом // Тр. ВНИИНГ. Вып. 3. М.: Недра, 1964. С. 206—230.

⁴ Брылев В. А. Эволюционная геоморфология юго-востока Русской равнины. Волгоград: Перемена, 2006. 351 с.

⁵ Горелов С. К. Геоморфология и новейшая тектоника правобережья Нижней Волги // Тр. Ин-та географии АН СССР. Вып. 19. 1957. 140 с.

⁶ Волгоград в начале XXI века / Под ред. И. О. Тюменцева. Волгоград: ФГОУ ВПО ВАГС, 2011. 452 с.

⁷ Брылев В. А., Корхова Ю. А. Древние и современные оползни Нижнего Поволжья и факторы их образования // Геоморфология. 2010. № 4. С. 37—47.

⁸ Солодовников Д. А., Филиппов О. В. Геологическое строение и современные тектонические движения в районе Александровского грабена // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища. Волгоград: Волгоградское науч. изд-во, 2009. С. 71—83.

⁹ Самусь Н. А. Эрозионные процессы по берегам Волги и их влияние на оползневую ситуацию в пределах Волгоградской агломерации // XV пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Волгоград: Перемена, 2000. С. 40—43.

¹⁰ Атлас Волгоградской области. Киев: Гл. управление геодезии, картографии и кадастра при Каб. министров Украины, 1993. 40 с.

¹¹ Самусь Н. А. Оползневые процессы на территории Волгоградской агломерации // Изв. ВГПУ № 6 (24). Сер. ест. и физико-матем. науки. 2007. С. 86—101.

ТЕХНОГЕННОЕ ПОДТОПЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ МЕГАПОЛИСОВ ЮГА РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

С. И. Махова

Наиболее изученной подтопленной территорией является Волгоградский мегаполис, где загрязнены грунтовые и поверхностные воды и атмосфера на площади 972 кв. км¹.

Мегаполис включает территорию двух крупных городов — Волгограда и Волжского с населением соответственно 1 млн и 0,5 млн человек

и представляет собой крупнейший индустриальный центр Нижнего Поволжья. Протяженность — 102 км при ширине 3—10 км.

В геоморфологическом отношении территория расположена на юго-востоке Русской равнины в месте сочленения крупных морфоструктур — Прикаспийской впадины, Приволжской возвышенно-

сти и Ергеней — и эрозионно-аккумулятивной долины Волги.

В пределах Прикаспийской низменности, представленной морской равниной раннехвалынского возраста, расположена южная часть Волгограда, образующая полосу застройки шириной 1,5—2 км. На севере она встречается небольшими участками, приуроченными в основном к устьям рек и балок.

Денудационная равнина Приволжской возвышенности и Ергеней плиоценового возраста представлена крутым (от 3 до 9°) коротким волжским склоном, расчлененным долинами мелких рек, балками и оврагами глубиной до 120 м.

В геологическом строении территории принимают участие отложения палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем². Палеогеновые отложения делятся на несколько толщ, представленных песками, глинами, а также песчаниками и алевролитами различной прочности. На них ложатся майкопские глины олигоцен-миоцена. Мощность глин изменяется от 0—30 м в северной части города, до 90—100 м на юге. Майкопские глины выходят на поверхность или залегают на небольших глубинах и служат основанием многих сооружений. На размытой поверхности палеогеновых пород и майкопских глин залегают ергенинские пески с прослоями глин и «скифские» глины. Последние представлены не только глинами, но также суглинками, супесями и даже песками.

Среди отложений четвертичной системы наиболее существенное значение имеют отложения среднего и верхнего плейстоцена и голоцена. В пределах Прикаспийской низменности отложения среднего плейстоцена представлены аллювиальными песками и глинами итильского и хазарского горизонтов; отложения верхнего плейстоцена — лессовыми породами ательского горизонта, морскими нижнехвалынскими шоколадными глинами и суглинками; отложения голоцена — аллювиальными, делювиальными и оползневыми образованиями, техногенными накоплениями, а также аллювиальными и зерно-аллювиальными суглинками и супесями. Волго-Ахтубинская пойма сложена аллювиальными современными песками и глинами. В пределах Приволжской возвышенности и Ергеней в строении плейстоценовых отложений выделяются лессовые породы, голоценовых — овражно-балочные, аллювиальные, оползневые и техногенные образования.

Гидрогеологические условия мегаполиса характеризуются наличием нескольких водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных к хазарским, ергенинским и ременным аллювиальным песчаным отложениям. Встречаются воды спо-

радического распространения и в трещиноватых хвалынских и майкопских глинах. В химическом составе воды аллювиального водоносного горизонта преобладают гидрокарбонаты, в их горизонтах, как правило, сульфаты, иногда хлориды.

В связи с инженерно-хозяйственным освоением территории происходят подъем уровня грунтовых вод (УГВ) и образование верховодки и новых антропогенных водоносных горизонтов в насыпных и намывных отложениях, в лессовых породах, хвалынских глинах, ергенинских песках, майкопских глинах, палеогеновых отложениях.

Скорость подъема грунтовых вод колеблется от 0,15 до 1,3 м в год. Морские нижнехвалынские глины относятся к усадочно-набухающим. Залегая выше УГВ, они характеризуются небольшими влажностью и пористостью, имеют твердую или тугопластичную консистенцию, высокие значения показателей прочностных и деформационных свойств. При повышении УГВ влажность их увеличивается, консистенция становится пластичной, мягкопластичной или даже текучепластичной, показатели прочностных и деформационных свойств резко снижаются: угол внутреннего трения — до 2 раз, сцепление — до 4 раз, модуль общей деформации — до 5 раз. Это приводит к деформациям зданий и сооружений, возведенных с использованием всех типов фундаментов, в том числе свайных. Испытания статическими нагрузками показали, что сваи длиной 8 м в нижнехвалынских глинах тугопластичной консистенции выдерживали нагрузку в 400—500 кН, но при переходе их в мягко- или текучепластичную консистенцию несущая способность свай снижалась до 300—350 кН, т. е. на 20—30%. При эксплуатации сооружений с горячими технологическими процессами (под горячими цехами некоторых производств, заводскими трубами, горячими водоводами) нередко происходит противоположное явление — не набухание, а усадка, что также вызывает деформации зданий и сооружений.

Глины содержат значительное количество кристаллического и мучнистого гипса. Выщелачивание его при замачивании глин приводит к образованию агрессивных вод с содержанием сульфат-иона до 10 000 мг/л. Поскольку при строительстве многих сооружений возможность образования агрессивных грунтовых вод не была учтена, это вызвало многочисленные аварии коммуникаций. Высокая минерализация грунтовых вод активизирует также агрессивное воздействие на бетон и металл блуждающих токов.

Среди дочетвертичных глинистых пород наиболее широко распространены глины майкопской серии; они также относятся к набухающе-

усадочным. В естественных условиях они находятся выше УГВ и имеют твердую и полутвердую консистенцию. На застроенной территории в результате обводнения они набухают, при этом модуль деформации глин снижается примерно в 1,5 раза. Минерализация вод, формирующихся в трещиноватой зоне майкопских глин, изменяется от 0,3 до 41 г/л. Для них характерны кислая среда с $pH < 6$ и повышенное содержание свободной углекислоты. Воды майкопских глин обладают сульфатной, общекислотной и углекислой агрессивностью. Мечеткинские глины волгоградской свиты эоцена также относятся к набухающе-усадочным.

Лёссовые породы в пределах города не обводнены до глубины 15—20 м и весьма чувствительны к дополнительному замачиванию, которое приводит к резкому снижению показателей прочности и сжимаемости, а также к просадочным деформациям. Например, средняя величина модуля деформации лёссовых пород валдайского и ательского горизонтов при увлажнении снижается соответственно в 7 и 10 раз. Соппротивление сдвигу этих пород также зависит от влажности. Испытания на сдвиг при естественной влажности ательских суглинков и супесей дали следующие значения: при влажности 0,08 $\tau = 0,65$, а при влажности 0,22 $\tau = 0,21$; удельное сцепление снижается при этом с 0,6 до 0,2 МПа.

Замачивание лёссов вызывает развитие просадочных явлений. В настоящее время в пределах мегаполиса зафиксированы деформации 63 зданий, из них 36 — на ательских лёссах и 27 — на валдайских.

Существенно снижается при обводнении несущая способность свай. По результатам полевых испытаний свай статическими нагрузками с замачиванием было установлено, что в лёссовых породах ательского и валдайского горизонтов несущая способность свай длиной 7—9 м, составляющая в грунтах природной влажности 600—700 кН, при замачивании продолжительностью около месяца снижается до 350—400 кН. Минерализация вод лёссовых пород изменяется от 0,4 до 11,5 г/л; это преимущественно сульфатные натриевые воды с содержанием сульфат-иона до 4000 мг/л. Воды обладают сульфатной агрессивностью.

Песчаные породы представлены аллювиальными, озерно-аллювиальными и морскими отложениями современного и позднечетвертичного возраста. В западной части Волгограда развиты неоген-нижнечетвертичные песчаные отложения, ергенинские пески, а также своеобразные песчано-алевритовые породы мечеткинских слоев эоцена. При обводнении пород физико-механические свойства их практически не меняются.

Таким образом, наиболее сильно реагируют на замачивание и обводнение в результате инженерно-хозяйственного освоения морские нижнехвалынские глины и лёссовые породы валдайского и ательского горизонтов. Майкопские глины занимают в этом отношении промежуточное положение.

По имеющимся данным, в Волгоградском мегаполисе зафиксировано более 470 участков подтопления зданий и сооружений, вызванного подъемом УГВ и формированием верховодки. Территории некоторых крупных заводов и ряда жилых кварталов подтоплены практически полностью, и фундаменты находятся ниже УГВ. В районах распространения хвалынских, майкопских и мечеткинских глин на застроенных территориях отмечаются участки интенсивного проявления набухания, в результате чего происходят неравномерное поднятие поверхности земли, деформации фундаментов зданий и сооружений, разрыв коллекторов, разрушение асфальтовых покрытий, выпор полов, появление трещин различных размеров в зданиях (часто до аварийного состояния). В Волгограде в результате набухания на хвалынских глинах деформировано 82 здания, на майкопских глинах — 56 сооружений и 7 зданий. В этих условиях даже использование свайных фундаментов не всегда исключает аварии, об этом свидетельствует опыт строительства в Волгограде химкомбината, где в результате неполной прорезки сваями глин произошел выпор свай под зданиями, образовались трещины в несущих стенах, произошел неравномерный подъем фундаментов.

С набухающе-усадочными породами связан и обратный процесс — усадка глин при их антропогенном подсушивании. Например, на территории ряда заводов эксплуатируется большое число сооружений с горячим технологическим режимом работы (печи, дымовые трубы), где происходит интенсивный (до температуры 50—130 °С) многолетний прогрев хвалынских глин в основании сооружений. На 35 участках этот прогрев привел к термоусадке глин за счет уменьшения их влажности в верхней части слоя, снижение которой составило 19—27% по сравнению с естественной влажностью. Это вызвало значительные деформации труб и печей с образованием трещин и смещением от вертикали до 1200 мм при крене до 0,03. Термоусадка характерна и для других набухающе-усадочных глин, например майкопских, что также привело к деформациям.

Изменения, происходящие в подземной гидросфере под влиянием инженерно-хозяйственного освоения территории, являются важнейшей причиной образования новых и активизации старых

оползней: ими вызваны 95 из 117 зафиксированных в Волгограде оползней. Следует отметить, что стоимость противооползневых и берегоукрепительных работ составляет от 3 до 7 млн руб. на 1 км берега, а общая длина береговой полосы Волгограда превышает 70 км. Общая стоимость всех работ, предусмотренных схемой инженерной защиты территории Волгограда от подтопления, включающей дренаж подтопленных территорий и зоны перспективной застройки, устройством ливневой канализации и другие меры, превышает 770 млн руб. в ценах того времени. Такова цена недостаточно грамотного инженерно-хозяйственного освоения территории. Это типичный пример, отражающий положение, характерное для большинства городов юга России.

В настоящее время в Ростовском мегаполисе подтопленными являются 60 кв. км (43% его застроенной площади)³. Анализ гидрогеологических материалов за последние 30 лет показал, что рост антропогенной нагрузки на геологическую среду привел к существенным трансформациям гидрогеологических и инженерно-геологических обстановок. Если в начале этого периода уровни грунтовых вод на еще свободных от застройки территориях находились на глубинах 18—30 метров, то в результате урбанизации УГВ поднялся на 15—20 метров до отметок 1—2 метра от поверхности. Скорости подъема уровня в отдельных районах достигали 1 м в год.

Техногенное подтопление провоцирует деградацию прочностных свойств водовмещающих грунтов, что обуславливает развитие современных геологических процессов, таких как оползни, просадки, обвалы, провалы и др. Они наблюдаются практически во всех техногенно подтопленных городах Южного федерального округа.

Показательными в этом отношении были оползни. По механике оползневых процессов в Ростове-на-Дону зафиксированы вязко-пластические и срезающие оползни-сдвиги. Вязко-пластические оползни развивались на крутых склонах при условии $\alpha > \varphi$, где α — угол склона, φ — угол внутреннего трения. При водонасыщении и снижении φ происходило смещение в виде вязкого или вязко-пластичного течения. Срезающие оползни-сдвиги формировались по плоскостям скольжения, образующимся в скифских и сарматских глинах (оползни лессовидных суглинков, мэотических и сарматских известняков) на склонах, где плоскости скольжения находились выше базиса эрозии.

Более частыми становились явления просадки лессовидных суглинков в основном под старыми зданиями. Установлено, что до техногенного подъема УГВ эти здания давали осадку 0,1—0,2 м

в год. После, в результате подтопления, осадка достигала 0,58 м в год. В настоящее время осадка некоторых старых построек составляет 0,7 м/год. Просадки характеризовались неравномерностью развития под зданиями, что определяло формирование просадочных деформаций фундаментов и стен (некоторые стены имели сквозные трещины шириной 3—5 см). Ремонты зданий и укрепления фундаментов на постоянно подтопляемых просадочных грунтах являлись неэффективными.

В пределах застраиваемых и застроенных территорий, сложенных лессами и лессовидными суглинками, происходит повышение их влажности, с которым связаны просадки грунтов. При изучении причин указанных деформаций 24% от исследованных у 1996 аварийных домов, а 76% их аварийных деформаций приходится на утечки из водонесущих коммуникаций. Так, аварийные деформации от просадок более 400 зданий в Ростове-на-Дону произошли в условиях изменения влажности лессов с 0,4 до 0,8. При этом модуль деформаций грунтов уменьшился с 3,6—4,7 МПа до 0,7—1,0 МПа, то есть в 5—7 раз; в замоченных лессовидных суглинках несущая способность свай снизилась на 20—40%. В Ростовской области из 64 одноэтажных приусадебных домов в результате поливов огородов и последовавших за этим просадок лессовидных грунтов произошло разрушение 38 строений⁴.

Современные геологические процессы в Ростове-на-Дону, развивающиеся под действием прогрессирующего техногенного подтопления, следует считать экологическим бедствием. Для элиминации этих процессов необходимым и рациональным является строительство площадных систематических дренажных сооружений³.

В последние годы интенсивный подъем уровня грунтовых вод и подтопление отмечаются в Саратовском мегаполисе. Одной из причин подтопления является почти полная ликвидация естественной дренажной сети — балок и оврагов. В центральной части города уровень грунтовых вод за 15-летний период поднялся на 4,5—5 м, в районе сельхозинститута на 4,5 м за 11 лет, подтоплены здания театра и областной библиотеки. На территории химкомбината в Саратове уровень грунтовых вод в лессовых породах поднялся на 2,5—3 м за первые пять лет эксплуатации; подъем уровня грунтовых вод и подтопление отмечаются на территории ТЭЦ в аналогичных условиях, где до начала строительства грунтовые воды находились на глубине 12—14 м в лессовых породах^{5,6,7}.

Характерна динамика подъема УГВ по скважине 416 в центральной части Саратова в период с 1930 по 2010 г.: глубина УГВ в 1930 г. была

равна 16 м, в 1950-м — 14 м, в 1970-м — 10 м, 1980-м — 7 м. В период 1990—2010 г. уровень воды стабилизировался на глубине 4 м.

Из естественных факторов основную негативную роль играют приуроченность большей территории города к подножью склона Лысогорского массива, где разгружается ряд водоносных горизонтов, а также близкое расположение на ряде участков водоупорных толщ.

Резкое изменение природного баланса подземных вод явилось следствием непродуманной хозяйственной деятельности: засыпки оврагов, выполнявших роль естественных водоотводов, утечки из коммуникаций, строительства многочисленных плотин на малых реках. Большую роль сыграли уплотнение грунта при строительстве зданий на свайных фундаментах, ориентации фундаментов поперек подземного стока, сокращение площади свободного испарения, что привело к ухудшению условий поверхностного стока.

До начала массового промышленного и гражданского строительства в конце 50-х годов УГВ изменился незначительно. В последние сорок лет подтопление быстро прогрессировало и в настоящее время достигло критических масштабов.

Происходит затопление погребов и подвалов зданий, коррозия подземных коммуникаций, ухудшается санитарно-эпидемиологическая обстановка. Обводнение грунтов значительно снижает их прочность и деформационные характеристики, вызывает неравномерную осадку зданий и сооружений. Кроме того, грунтовые воды территории Саратова часто обладают агрессивностью. Их воздействие на фундаменты и другие заглубленные конструкции приводит к постепенному разрушению зданий. В настоящее время в укреплении оснований и фундамента оснований нуждается около 2% зданий города и в их числе находятся памятники истории и архитектуры.

В последние годы положение усугубляется еще и тем, что вследствие старения водонесущих коммуникаций потери воды из них возросли.

В настоящее время подтоплению подвержено более 50% застроенной территории Саратова, в том числе 22 кв. км жилой застройки. Высокий уровень залегания грунтовых вод (менее 1 м) характерен для северной части города (пос. Молочка).

На территории города существует более 30 активных оползней и оползневых зон; каждый год происходит 1—2 оползневые подвижки.

К сожалению, проблемы подтопления и сопутствующих процессов не ограничиваются рассмотренными мегаполисами и характерны для других городских территорий. В качестве примера рассмотрен г. Новочеркасск, который входит в число 2000 крупных городов мира с населением более 100 тыс. человек.

В этом городе 50% занимаемой площади подвергается интенсивному подтоплению грунтовыми водами с высокой минерализацией, агрессивностью и загрязненностью техногенными продуктами. В целом территория Новочеркасска по состоянию почв и подземных вод относится к зоне чрезвычайной экологической ситуации.

Второй пример — территория Астраханской городской агломерации (500 тыс. жителей), где подтоплено 117 участков общей площадью 240 га. Анализ распределения этих участков в зависимости от инженерно-геологических условий и инженерно-хозяйственного воздействия показал, что в районах, сложенных глинистыми и лессовыми породами, подтопление развивается при любом типе застройки в селитебной зоне и на предприятиях любой отрасли промышленности в промышленной зоне. В районах развития песчаных отложений подтопление отсутствует из-за хорошей дренированности территории⁵.

ЛИТЕРАТУРА

¹ Экологическая безопасность РФ. Материалы Межведомственной комиссии по экологической безопасности. М.: Юрид. лит.-ра. Вып. 1. 1994. 224 с.

² Сияков В. Н. Опыт инженерно-хозяйственного освоения территорий и изменение геологической среды // Инженерная геология СССР. В 2-х кн. М.: Недра, 1991. Кн. 2. С. 233—279.

³ Никаноров А. М. Современные геологические процессы и явления, связанные с техногенным подтоплением городов юга России // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: Труды Междунар. науч. конф., Москва, 29—30 января 2009 г. М.: МГУ, 2009. С. 105—106.

⁴ Шешеня Н. Л. Аварийные разрушения строительных объектов на участках проявления просадок лессов и лессо-

видных грунтов // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: Труды Междунар. науч. конф., Москва, 29—30 января 2009 г. М.: МГУ, 2009. С. 76—77.

⁵ Сияков В. Н. Геологическая среда и методы ее изучения. Учебное пособие. Волгоград: ВолгИСИ, 1994. С. 28—31.

⁶ Еремин В. Н. Экзогеодинамические процессы на территории г. Саратова // Саратовский научно-образовательный геоэкологический полигон. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2007. С. 114—116.

⁷ Анисимов Л. А. Подтопление территории г. Саратова // Недра Поволжья и Прикаспия. Саратов: НВНИИГ, 1998. № 16. С. 59—64.