УДК: 624.131:551.435:556.3:624.131.43

Р.Э.ДАШКО, А.Г.СТУККЕЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО РЕЖИМА НИЖНЕКОТЛИНСКОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрена проблема оседания земной поверхности при снижении пьезометрического уровня напорных водоносных горизонтов. Дана динамика изменения напора нижнекотлинского водоносного горизонта, оказывающего влияние на устойчивость наземных и подземных сооружений Санкт-Петербурга. Рассмотрено воздействие минерализованных вод этого горизонта на разрушение конструкционных материалов транспортных тоннелей.

The problem of surface settlements upon artesian water intense pump down influence is examined. Characteristic of lower-kotlinsky aquifer modification that influences upon ground-based and subterranean buildings in Saint-Petersburg is given. Examples of constructive materials destruction of transport tunnels are demonstrated. Recommendations to avoid corrosive capability of constructive materials are given.

Инженерная деятельность человека, связанная со снижением пьезометрической поверхности напорных водоносных горизонтов, приводит к значительным деформациям земной поверхности, тем самым оказывая влияние на эксплуатационную надежность наземных и подземных сооружений.

На урбанизированных территориях, где действуют статические и динамические нагрузки от зданий и транспортных систем города, дополнительные осадки (при наличии в разрезе низкомодульных песчано-глинистых грунтов либо дислоцированных пород) могут достигать значительных величин, вследствие чего повреждаются городские сооружения, канализационные коллекторы, трубопроводы, подтапливаются низменные части городских территорий.

Проблема оседания земной поверхности остро стоит в ряде крупных мегаполисов, таких как Лондон, Токио, Мехико, Сан-Франциско, Венеция и др.

В северо-восточной части Токио (район Кото) отмечена максимальная величина снижения уровня земной поверхности – около 4,5 м за период с 1920 по 1980 г. Вследствие опускания суши возросла потенциальная опасность затопления города нагонными водами штормов. В Лондоне, где подземные воды длительное время использовались для водоснабжения, площадь депрессионной воронки, образовавшейся в результате снижения пьезометрической поверхности Лондонского артезианского бассейна, достигла 1800 км^2. Такое снижение уровней в водоносном горизонте повлекло за собой деформацию зданий исторического центра Лондона, в том числе Вестминстерского аббатства. Катастрофических размеров достигло опускание поверхности в Мехико в результате интенсивного забора подземных вод. К концу 70-х гг. XX в. вся территория города опустилась более чем на 4 м, а северо-восточная его часть – на 9 м. Ныне процесс удалось стабилизировать за счет резкого сокращения объемов откачки воды.

Проблема опускания земной поверхности существует и в Санкт-Петербурге. В Санкт-Петербурге максимальные понижения земной поверхности, достигающие 8 мм/год, зафиксированы в левобережной части р. Невы вблизи завода ЛИВИЗ (Синопская набережная, д. 56-58), где действуют эксплуатационные скважины на нижне-

котлинский водоносный горизонт. Ряд исследователей считает, что возникновение подобных деформаций обусловлено современными тектоническими движениями.

Нижнекотлинский водоносный горизонт приурочен к вендским песчаникам. Мощность нижнекотлинского горизонта составляет около 20 м. Выше по разрезу наблюдается переслаивание глин с песчаниками; водоупором служат плотные трещиноватые верхнекотлинские глины вендского возраста, которые перекрыты четвертичными отложениями. Толща водоупора нижнекотлинского горизонта частично или полностью размыта в тальвегах погребенных долин, заполненных относительно слабыми песчано-глинистыми породами. Мощность четвертичных отложений в пределах Санкт-Петербурга находится в пределах 20-30 м вне зон палеодолин и достигает 120 м в зонах глубоких палеоврезов.

В пределах Санкт-Петербурга нижнекотлинский водоносный горизонт содержит напорные воды. На площади Приморской низменности, т.е. на большей части территории города, в довоенный период в ненарушенных эксплуатацией условиях скважины на нижнекотлинский горизонт фонтанировали и величина напора над кровлей водоносного горизонта составляла 80-160 м.

Особенностями естественного режима, обусловленными относительной изолированностью нижнекотлинского водоносного горизонта, являются небольшая (0,3-0,5 м) годовая амплитуда колебаний уровня, синхронность с колебаниями атмосферного давления, согласованность с изменениями уровня в Финском заливе.

На площади города водоносный комплекс попадает в краевую часть региональной гидрохимической зоны вод с повышенной минерализацией северо-западного крыла Московского артезианского бассейна. По химическому составу воды хлоридного натриевого состава с минерализацией 3,5-5 г/л, а в зонах тектонических разломов она может превышать 5 г/л.

Гидродинамический режим нижнекотлинского водоносного горизонта, начиная с 40-х гг. XX в., характеризуется чередованием снижения и подъема пьезометрической поверхности.

С конца 50-х гг. XX в. в течение 25 лет водоносный горизонт активно использовался промышленными предприятиями, в результате чего пьезометрические уровни в Санкт-Петербурге достигли наиболее низких абсолютных отметок (понижения в центре воронки составляли 64 м). Это привело к развитию деформаций земной поверхности в центральных районах Санкт-Петербурга.

На 1965 г. суммарная осадка дневной поверхности в центральной части Санкт-Петербурга оценивалась в 3,7 см, что с инженерно-геологических позиций позволяет говорить о ее практической значимости для зданий исторического центра города. В 60-х гг. прошлого века были высказаны предположения о том, что активизация деформаций Исаакиевского собора связана со снижением пьезометрической поверхности нижнекотлинского водоносного горизонта, которое повлекло за собой и снижение уровня грунтовых вод. В 80-е годы произошел общий спад производства, что вызвало резкое уменьшение водоотбора из скважин и как следствие постепенный подъем уровня подземных вод нижнекотлинского водоносного комплекса.

В настоящее время пьезометрическая поверхность нижнекотлинского водоносного горизонта продолжает постепенно восстанавливаться со скоростью 1,5-2,0 м в год. Величина напора нижнекотлинского горизонта в настоящее время, считая от кровли водовмещающих песчаников, составляет 93-98 м. Повышение напоров нижнекотлинского горизонта определяет повсеместное восходящее перетекание минерализованных вод через толщу трещиноватых глин.

Интенсивное восстановление ранее сниженных напоров нижнекотлинского водоносного горизонта негативно сказывается на напряженно-деформированном состоянии толщи вышележащих пород, приводит к появлению взвешивающего эффекта для четвертичных и коренных пород, повышению порового давления в слабых водонасыщенных грунтах четвертичного возраста.

Основная часть транспортных тоннелей Санкт-Петербурга проложена в коренных породах – верхнекотлинских глинах верхнего венда. Часть трассы транспортных тоннелей проходит под тальвегом погребенной долины, где наблюдается снижение мощности верхнекотлинских глин до 6-15 м. В пределах таких участков целик пород между подошвой тоннеля и водоносным горизонтом представлен толщей переслаивания плотных глин и песчаников с относительно высокой проницаемостью. Под влиянием этих факторов, а также принимая во внимание повышенную трещиноватость верхнекотлинских глин и, как следствие, их пониженную прочность и характеристики деформационных свойств, можно предполагать, что некоторые участки перегонных тоннелей будут находиться в неблагоприятных условиях вследствие перетекания воды из нижнекотлинского горизонта через трещиноватый водоупор и ее агрессивного воздействия на материалы транспортных тоннелей.

Перегонные тоннели метрополитена, имеющие дефекты в гидроизоляционной рубашке, а также в тюбингах, должны рассматриваться как линейные дрены, в которые за счет восходящего перетекания поступают воды хлоридного натриевого состава. Агрессивность этих вод близка к коррозионной способности разбавленных в несколько раз морских вод.

В настоящее время приходится ставить новый вопрос о регулировании напоров в нижнекотлинском водоносном комплексе, которые могут оказать негативное воздействие на устойчивость подземных сооружений транспортного назначения. Особенно опасным это воздействие может оказаться в тальвегах палеодолин, разветвленной сетью прорезающих коренные породы.

Минерализованная вода нижнекотлинского водоносного горизонта способствует агрессивному воздействию на конструкционные материалы трассы перегонных тоннелей: гидроизоляционный слой, бетонные и чугунные тюбинги, приводя к нарушению целостности обделки тоннелей.

Притоки в тоннели, выражающиеся в виде капежа либо разгрузки в виде тонкой струи, зависят от характера проницаемости тюбингов по стыкам и болтовым соединениям. Кроме того, воздействие минерализованных вод на железобетонные тюбинги приводит к постепенному выщелачиванию компонентов бетона (см. таблицу) и повышению водопроницаемости отдельных тюбингов, в связи с чем идет формирование высолов и других натечных форм на их поверхности.

Результаты сравнительного анализа химического состава водных вытяжек из разрушенного бетона

Определяемые показатели	Численные значения	
	«Василеостровская» – «Гостиный двор»	«Невский проспект» – «Горьковская»
pH	9,8	11,1
$БПК_5$, мг O_2/дм^3	21,4	181,3
Хлориды, мг/дм^3	5398,4	638,1
Гидрокарбонаты, мг/дм^3	15,3	2506,8
Сульфаты, мг/дм^3	113,6	2908,8
Карбонаты, мг/дм^3	93,3	1176,2
Натрий + калий, мг/дм^3	2751,1	3240,9
Кремниевая кислота, мг/дм^3	10,9	17,8

Из таблицы видно, что химический состав водных вытяжек из бетона различается по транспортным тоннелям «Василеостровская» – «Гостиный двор» и «Горьковская» – «Невский проспект». В транспортном тоннеле «Василеостровская» – «Гостиный двор» преобладают хлориды, в то время как в тоннеле «Горьковская» – «Невский проспект» – сульфаты, карбонаты и гидрокарбонаты. Подобное различие в составе можно объяснить различными стадиями разрушения конструкционных материалов, поскольку на перегоне «Горьковская» – «Невский проспект» были проведены ремонтные работы с целью повышения целостности тоннельных конструкций.

На первой стадии разрушения агрессивные воды вступают в контакт с гидроизолирующим материалом (тампонажным раствором), в состав которого входит гидросульфоалюминат кальция. После выноса тампонажного раствора начинается разрушение бетонных и железобетонных тюбингов тоннеля. Коррозия переходит во вторую стадию, во время которой идет накопление

основных компонентов агрессивных вод, т.е. хлоридов и натрия. Эти процессы протекают при активном участии микроорганизмов, о чем свидетельствуют высокие содержания $БПК_5$ во всех отобранных в транспортных тоннелях пробах, а также численность микромицетов и нитрифицирующих, тионовых и железобактерий (число последних в отдельных пробах достигает 87900 клеток на 1 г субстрата).

Вследствие химической и биохимической коррозии, усиливающейся под действием противодавления нижнекотлинского водоносного горизонта, происходит активизация процессов разрушения конструкционных материалов. Основные формы разрушения следующие: выщелачивание наиболее неустойчивых цементных минералов, вымыв CaO и MgO; новообразования при выщелачивании растворов по стыкам тюбингов (сталактиты, высолы и другие натечные формы); расслоение и деградация чугунных и бетонных тюбингов.

В свете всего сказанного очевидно, что при проектировании подземных сооружений глубокого заложения необходимо учитывать возможное отрицательное воздействие напорных водоносных горизонтов на конструкционные материалы транспортных тоннелей, приводящее к нарушению целостности обделки и активизации процессов коррозии. Частично эта проблема может быть решена путем применения специальных антикоррозийных материалов, устойчивых к воздействию агрессивных вод и микробиоты.