

ВЫБОР СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПРИТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КОТЛОВАН ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Е. Е. Ермолаева

ООО «Инженерная Геология», г. Москва

Поступила в редакцию 20 марта 2015 г.

Аннотация: рассмотрены вопросы выбора средств инженерной защиты от притока подземных вод в котлован глубокого заложения, а также изменения гидрогеологических условий при строительстве крупных объектов на примере конкретного сооружения в г. Москва. Дана краткая характеристика объекта, геоморфологических особенностей, геологического строения и гидрогеологических условий. Прогноз гидрогеологических изменений участка строительства выполнен на основании численного моделирования геофильтрации с помощью программного комплекса MODFLOW.

Ключевые слова: инженерная защита, гидрогеология, подземные воды, строительство, водопонижение, барражный эффект, «стена в грунте».

THE CHOICE OF ENGINEERING PROTECTION FROM GROUNDWATER INFLOW TO THE PIT DEEP-LAID

Abstract: QUESTIONS OF SELECTION TOOLS ENGINEERING PROTECTION FROM GROUNDWATER INFLOW TO THE PIT DEEP-LAID, AND CHANGES IN HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE CONSTRUCTION OF LARGE OBJECT ON THE EXAMPLE OF CONCRETE CONSTRUCTION IN MOSCOW. GIVES A BRIEF DESCRIPTION OF THE OBJECT, GEOMORPHOLOGY, GEOLOGICAL STRUCTURE AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS. FORECAST HYDROGEOLOGICAL CHANGES ON THE CONSTRUCTION SITE MADE ON THE BASIS OF NUMERICAL SIMULATION OF GEOFILTRATION USING MODFLOW SOFTWARE COMPLEX.

Keywords: PROTECTION ENGINEERING, HYDROGEOLOGY, GROUNDWATER, THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES, BARRAGE EFFECT, «WALL IN THE GROUND».

В последнее время на территории Москвы и Московской области существенно выросло число крупных строительных объектов с фундаментами глубокого заложения. Одновременно с этим, увеличилось количество аварий, связанных с резким понижением уровня подземных вод, с развитием значительной депрессионной воронки или, наоборот, затопление подвалов окружающих зданий в результате барражного эффекта. Основная причина – проектирование подобных сооружений без учета прогнозного изменения гидрогеологических параметров, особенно в условиях плотной городской застройки.

Влияние строительства на гидрогеологические условия территории может проявляться в изменении многих параметров подземной гидросферы. В практическом отношении наиболее важные из них – подъем уровня грунтовых вод и вызванное этим подтопление территории, а также обводненность фундаментов.

Исходя из многолетнего опыта инженерно-геологических изысканий в Москве, застраиваемую территорию целесообразно считать потенциально подтопленной.

В зоне активного строительства подземных гражданских сооружений на глубинах более 30 м в Москве

встречаются до 4-х водоносных горизонтов, разделенных водоупорными толщами. Питание первого от поверхности водоносного горизонта зависит от утечек техногенных вод из инженерных коммуникаций, а также инфильтрации атмосферных осадков. Инфильтрация в свою очередь зависит от распределения покровных глинистых отложений и их мощности. Участки, где глинистые отложения отсутствуют, размыты или удалены при строительстве, являются зонами интенсивной инфильтрации. На таких участках, при наличии выдержанных нижележащих водоупорных слоев в толщах песчаных отложений или в суглинистых толщах с частыми прослоями и линзами песков, образуются водоносные горизонты, которые подтапливают подземные части зданий и сооружений [1].

Объект исследования представляет собой комплекс 4, 5, 6, 9, 11, 14, 16 и 17-ти этажных зданий с общим многоуровневым подвалом, с габаритами подземной части в плане 181 × 138 м, с заглублением подвала 22,0 м. При проектировании объекта исследований проводилось изучение подземного пространства на глубину до 45,0 м. Данный объект наиболее полно отображает проблему освоения подземного

пространства, имеет значительную глубину заложения фундамента, проходящего через два водоносных горизонта. Часть комплекса расположена в пойме небольшой реки, убранной в коллектор. Кроме того, по всему периметру участок застройки окружен зданиями различного времени постройки на различных фундаментах с разнозаглубленными подвалами. В данной постановке необходимо учесть мероприятия, реализация которых с одной стороны обеспечит нормальные условия строительства и эксплуатации проектируемого сооружения, с другой – позволит минимизировать изменения существующих гидрогеологических условий на застроенной территории.

В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах двух геоморфологических элементов: поймы реки Фильки и флювиогляциальной равнины.

В геологическом отношении на исследуемой площадке развиты отложения, представленные песчаными и глинистыми четвертичными отложениями,

ниже – коренными отложениями нижнего мела и верхней юры.

Гидрогеологические условия площадки до глубины 45 м представлены двумя водоносными горизонтами: надморенным горизонтом, приуроченным к аллювиальным и флювиогляциальным отложениям и надюрским – к флювиогляциальным и нижнемеловым песчаным отложениям.

Непосредственно на территории, прилегающей к площадке, стационарные режимные пункты наблюдений за уровнем подземных вод отсутствуют. Ближайшая наблюдательная скважина, характеризующая аналогичные геолого-гидрогеологические условия, расположена на расстоянии 400,0 м. По данным режимных наблюдений за уровнем подземных вод в этой скважине, проведенных в течение 9 лет, величина среднееголетней амплитуды колебания уровня грунтовых вод составила около 1,5 метров (рис. 1). Эта величина и принималась в дальнейшем для моделирования рассматриваемого проектируемого участка.



Рис. 1. Среднееголетняя амплитуда колебания уровня грунтовых вод в наблюдательной скважине.

Прогноз гидрогеологических изменений. Для проведения численного моделирования геофильтрации использовалась программа MODFLOW [2].

На участке строительства вертикальная дискретизация области фильтрации была принята шестислойной.

1 слой – техногенные грунты, песчаные современные аллювиальные и флювиогляциальные отложения московского межледникового, с первоначальным коэффициентом фильтрации – 5 м/сут;

2 слой – суглинисто-супесчаный слой моренных и

флювиогляциальных отложений, с начальным коэффициентом фильтрации – 0,05 м/сут;

3 слой – песчаная часть флювиогляциальных отложений окско-днепровского межледникового, с начальным коэффициентом фильтрации – 2 м/сут. Следует отметить, что в пределах третьего модельного слоя распространены выдержанные слабопроницаемые прослои суглинков, поэтому вертикальный коэффициент фильтрации третьего слоя принимался в 2 раза меньше, чем горизонтальный.

4 слой – глинистые отложения нижнего мела, с на-

чальным коэффициентом фильтрации – 0,005 м/сут;

5 слой – пылеватые пески нижнего мела, с начальным коэффициентом фильтрации 1,5 м/сут;

6 слой – глинистые отложения верхней юры, с начальным коэффициентом фильтрации – 0,008 м/сут (горизонтальный) и 0,0003 м/сут (вертикальный, рис. 2).

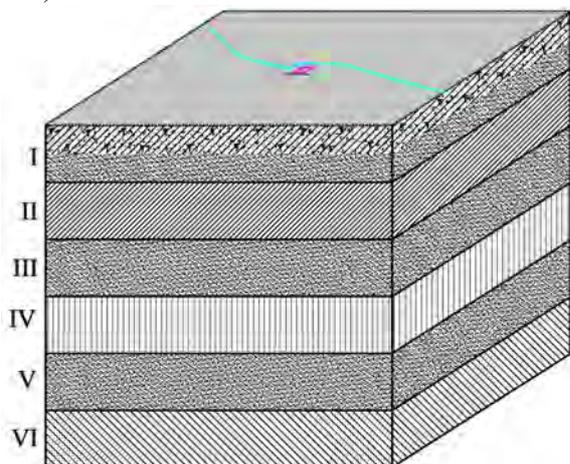


Рис. 2. Геолого-гидрогеологический разрез фильтрационной схематизации и плановая дискретизация области моделирования. Слой I – $K_f = 5$ м/сут; слой II $K_f = 0,05$ м/сут; слой III $K_f = 2$ м/сут; слой IV $K_f = 0,05$ м/сут; слой V $K_f = 1,5$ м/сут; слой VI $K_f = 0,008$ м/сут (горизонтальный) и $K_f = 0,0003$ м/сут (вертикальный).

Следует отметить, что в дальнейшем значения начального коэффициента фильтрации для каждого из слоев уточнялись при решении обратной задачи.

Расчетная область была покрыта неравномерной сеткой, состоящей из 142 x 142 блоков со сторонами 24,0 x 24,0 м на периферии модели и 5,0 x 5,0 м вблизи проектируемых зданий. Размер области моделирования составляет 2400 x 2400 м, что обусловлено необходимостью учета всех внешних границ на расстоянии, заведомо большем, чем радиус влияния вероятных возмущений от проектируемых строений и мероприятий по их инженерной защите.

Необходимо отметить, что уровень грунтовых вод может подниматься на 1,0–1,5 м выше отметок, зафиксированных в процессе инженерно-геологических изысканий. Это подтверждается данными режимных наблюдений за амплитудой колебания уровня грунтовых вод. В то же время, на застроенных городских территориях может возникать временное повышение уровня грунтовых вод, вызванное утечками из водонесущих коммуникаций, поливами и т.д. [3]. Для учета неблагоприятных изменений гидрогеологических условий произведен прогнозный расчет, предполагающий увеличение инфильтрационного питания в 1,5 раза (до 0,0003 м/сут) и повышения уровня на внешних границах на 1 м.

В качестве защиты от обводнения фундаментов используют пристенный дренаж, «стена в грунте», либо сочетание застенного дренажа и «стены в грунте». С помощью численного моделирования выполнялся прогноз эффективности трех предложенных

методов инженерной защиты здания от подтопления подземными водами, а также дана оценка изменения гидрогеологических условий, как на площадке, так и на прилегающих территориях.

С помощью полученной геофильтрационной модели были воспроизведены условия, характерные для паводкового периода.

На рисунке 3 показано изменение уровня воды надморенного и надъюрского водоносных комплексов при организации водопонижения с помощью пластового дренажа без создания «стены в грунте». Для эффективного понижения воды в верхнем (надморенном) водоносном комплексе при расчете было предусмотрено создание пристенного фильтрующего слоя на внешней части подземной части стен здания, создающего гидравлическую связь между надморенным и надъюрским водоносными комплексами.

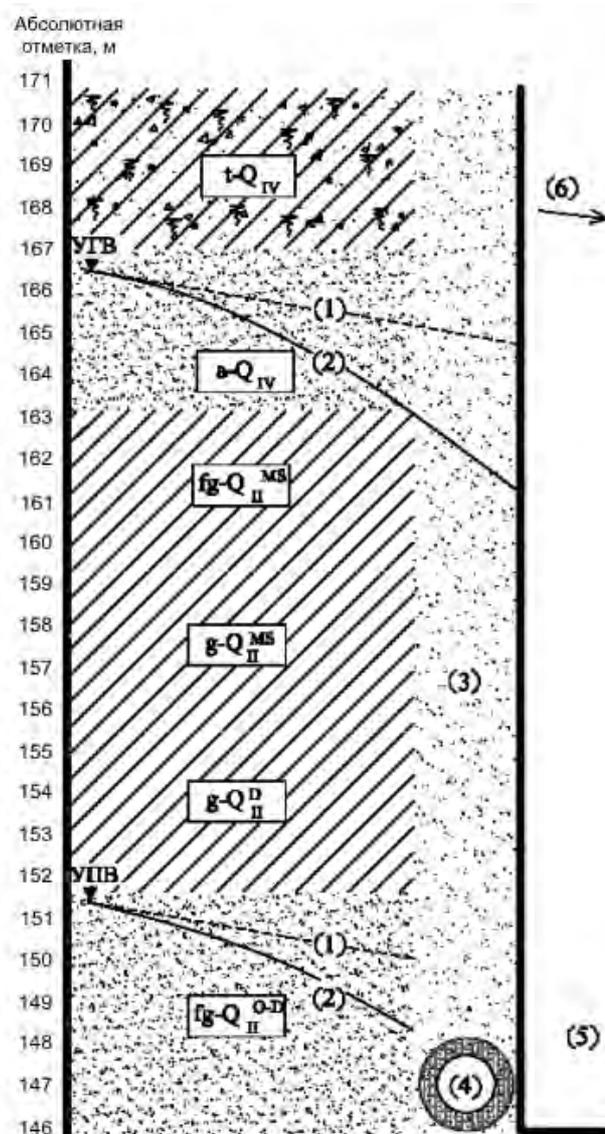


Рис. 3. Организация водопонижения с помощью дренажа без создания «стены в грунте» (схема): 1 – естественный уровень подземных вод; 2 – измененный уровень вод; 3 – дренажный слой; 4 – дренажная труба; 5 – котлован; 6 – направление естественного потока.

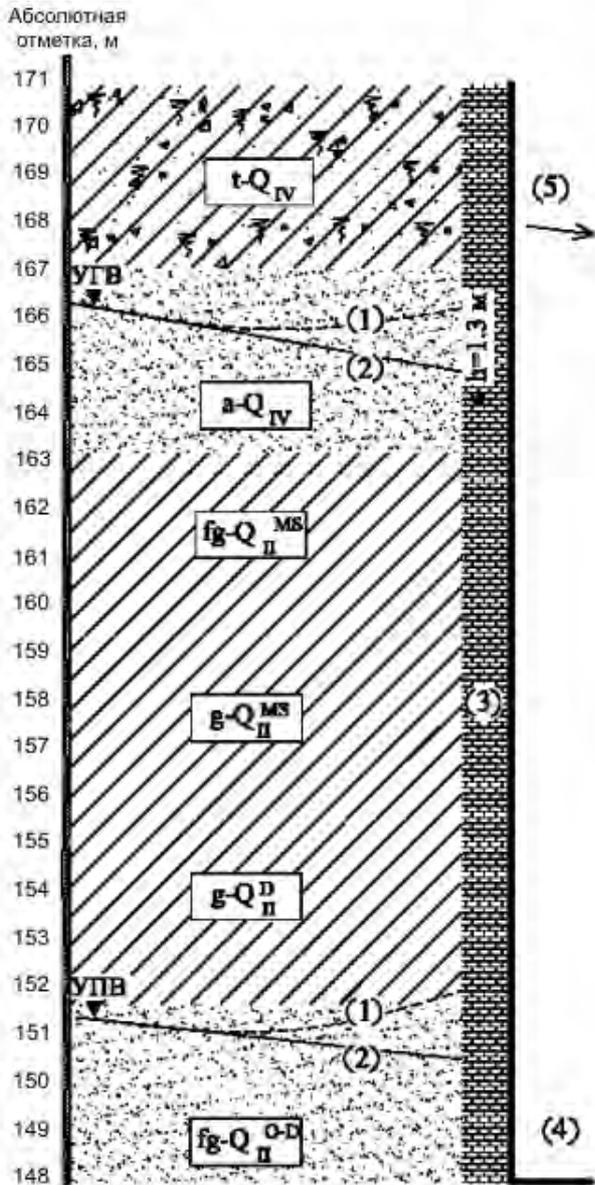


Рис. 4. Работа «стены в грунте» и возникающий при этом барражный эффект (схема): 1 – естественный уровень подземных вод; 2 – измененный уровень вод; 3 – «стена в грунте»; 4 – котлован; 5 – направление естественного потока.

Суммарный водоприток к дренажу при этом не превысит $6300 \text{ м}^3/\text{сут}$ в осенне-весенние (многоводные) периоды года и в среднем составит $6000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Очевидно, что такое масштабное водопонижение обладает рядом существенных недостатков. В частности, возникает большая депрессионная воронка (радиус которой более 1500 м), что может привести к неблагоприятным последствиям для окружающих зданий и биоценозов, и водоотведение таких объемов дренажных вод – крайне дорогостоящее мероприятие.

Результаты прогнозного моделирования эффективности работы «стены в грунте» и возникающего при этом барражного эффекта в обоих рассматриваемых водоносных комплексах приведены на рисунке 4. Из иллюстрации видно, что повышение уровня у стен

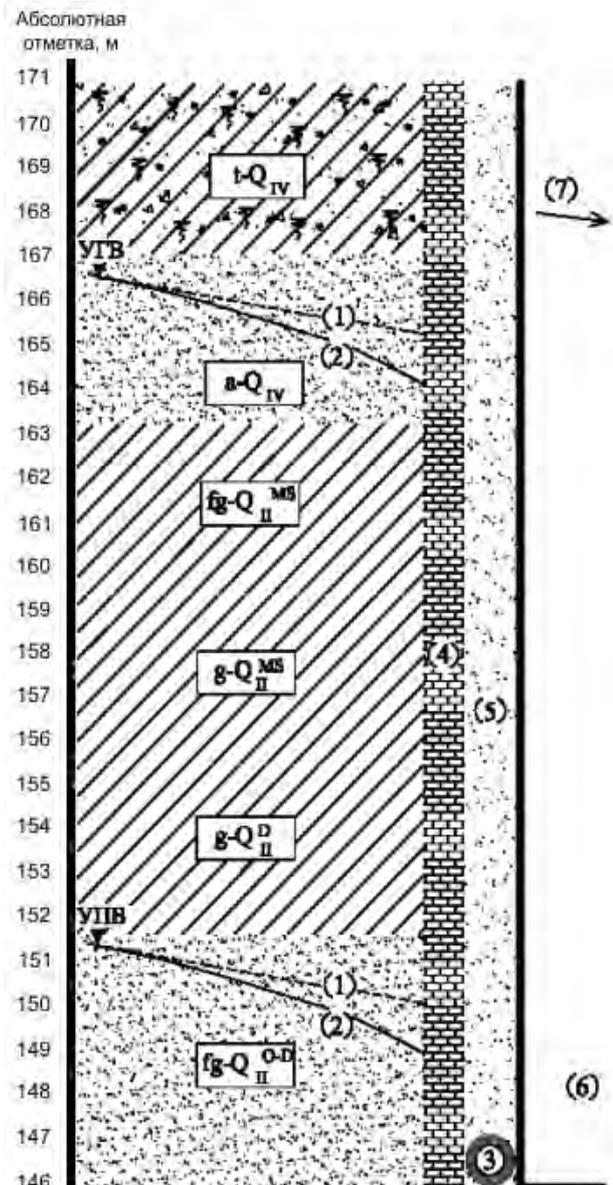


Рис. 5. Работа «стены в грунте» совместно с застенным дренажем (схема): 1 – естественный уровень подземных вод; 2 – измененный уровень вод; 3 – дренажная труба; 4 – «стена в грунте»; 5 – дренажный слой; 6 – котлован, 7 – направление естественного потока.

достигает $1,3 \text{ м}$, но быстро затухает по мере удаления от здания. Влияние барражного эффекта на ближайшие здания и биоценоз не достигают критических значений, т. к. положение уровня подземных вод практически не изменится относительно среднегодовых значений [4].

Результаты прогнозного моделирования эффективности работы «стены в грунте» совместно с застенным дренажем и возникающим при этом барражным эффектом в обоих рассматриваемых водоносных комплексах приведены на рисунке 5. Из иллюстрации видно, что барражный эффект оказывается меньше, чем в варианте только «стены в грунте», и суммарный водоприток к дренажу в многоводные периоды года при этом не превысит $50 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Выводы

По результатам проведенного моделирования можно сделать вывод, что наиболее рациональным решением, обеспечивающим нормальные условия эксплуатации проектируемого здания при минимальном изменении существующих гидрогеологических условий, является сочетание «стены в грунте» и застенного дренажа. При этой комбинации удастся добиться относительно невысокого подъема уровня грунтовых вод за счет «барражного эффекта»: чуть более 1,0 м в надморенном и менее 1,0 м в надъюрском водоносном горизонте. Застенный дренаж в данном случае служит профилактической мерой и позволяет минимизировать риск подтопления фундаментов в процессе эксплуатации.

ООО «Инженерная Геология», г. Москва

Ермолаева Е. Е., ведущий инженер
E-MAIL: ERMOLAEVA_EE@INBOXRU

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев, А. Ю.* Оценка изменения гидрогеологических условий застроенных территорий при ограниченной исходной информации / А. Ю. Беляев, Р. Г. Джамалов, Ю. А. Медовар, И. О. Юшманов // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2012 г. – № 3. – С. 282–286.
2. *MCDONALD, M. C. AND HARBAUGH, A.* 1988. MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model, U. S. Geological Survey, Open-file report 83–87.
3. *Куранов, Н. П.* Рекомендации по оценке величины дополнительного инфильтрационного питания грунтовых вод при техногенном подтоплении территорий промышленной и селитебной застройки / Н. П. Куранов, И. В. Коринченко. – М.: Изд-во ЗАО «ДАР/ВОДГЕО». – 2008. – 70 с.
4. *CHIANG W-H AND W. KINZELBAUM*, 1998, Processing Modflow: A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, Hamburg-Zurich.

LLC «ENGINEERING GEOLOGY», MOSCOW

ERMOLAEVA E. E., LEADING ENGINEER
E-MAIL: ERMOLAEVA_EE@INBOXRU