

УДК 504.43

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.116369

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА НА ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ Г. ХАРЬКОВА

© Е. Н. Серикова, Е. А. Стрельникова, В. В. Яковлев, Л. Я. Анищенко, Л. А. Писня

В связи с проблемой повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях выполнено апробирование созданной ранее математической модели на фактических данных мониторинга уровня грунтовых вод в центральной части города Харькова. Результаты расчетов на модели дают близкие к реальным мониторинговым значениям уровни грунтовых вод. Это указывает на адекватность созданной модели реальным натурным условиям

Ключевые слова: подтопление, уровень грунтовых вод, дополнительное питание, математическое моделирование, прогнозирование, водный баланс

1. Введение

Для значительного количества городов Украины характерно систематическое повышение уровней грунтовых вод (УГВ) на застроенных территориях [1] и расширение участков подтопления [2].

С 2014 г по 2017 г площадь подтопления в пределах территории Украины увеличилась с 7,9 млн га до 8,9 млн га, а количество подтопленных населенных пунктов увеличилось с 4702 до 4747 [3, 4].

2. Литературный обзор

Вопросами изучения динамики изменения уровня грунтовых вод [5] и развитием процесса подтопления городских и промышленных территорий [1, 2], занимались известные ученые и специалисты. В работе [5] проводятся фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве. В работе [6] проводится прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве. В работах [7, 8] приводятся натурные исследования состояния УГВ в центральной части г. Харькова. Данные наблюдательных скважин [9, 10] и изменений УГВ [11] при проектировании новых объектов в центральной части г. Харькова представлены в отчетах об инженерно-геологических изысканиях [12, 13]. Но задачи комплексной оценки техногенного воздействия городской среды на изменение УГВ и прогнозирования его изменения на базе натурных исследований, и разработка математических моделей, в настоящее время остаются актуальными, особенно для крупных промышленных центров.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является оценка адекватности предлагаемой математической модели прогноза на фактических данных мониторинга уровня грунтовых вод в центральной части г. Харькова.

Задачи исследования:

1. Проанализировать данные мониторинга УГВ для участка центральной части города Харькова;
2. Сделать прогноз изменения УГВ на исследуемом участке с помощью модели, созданной ранее

[14] и сравнить прогнозируемое и реальное значения изменения уровней грунтовых вод в различных точках контроля.

4. Материалы и методы исследований

Участок исследований расположен в исторической центральной части города Харькова, ограничен пер. Банным, площадями Пролетарской, Павловской и Рыбной, ул. Университетской (рис. 1). Геоморфологически участок расположен в пределах поймы р. Лопань и р. Харьков у их слияния. Уровень воды в реках регулируется Гончаровской плотиной и поддерживается на абсолютной отметке 100,5 м.

Рельеф участка ровный, спланированный насыпными грунтами.

В геологическом строении территории принимают участие четвертичные аллювиальные пески, покрытые с поверхности насыпными грунтами и подстилаемые палеогеновыми глинами. Подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта приурочены к четвертичным аллювиальным пескам.

Расположение участка на пойме обуславливает естественный высокий уровень грунтовых вод. Современная застройка, искусственные покрытия, препятствующие испарению и транспирации, прекращение водоотбора из нижележащих водоносных горизонтов, способствуют интенсификации развития процесса подтопления на данном участке. Исходные данные по изменению УГВ на данном участке использованы из отчетов об инженерно-геологических изысканиях [8, 9] на участках строительства различных объектов, которые проводились «Укрвосток ГИИТИЗ» в период с 1965 по 2016 гг. [10, 11]. Все приведенные точки контроля представляют собой наблюдательные скважины в аллювиальном водоносном горизонте [12, 13].

Уровни грунтовых вод в точках контроля на участке слияния рек Лопань и Харьков, показаны на рис. 1.

Изменения уровня грунтовых вод на участке слияния рек Харьков и Лопань [15, 16] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица изменения уровня грунтовых вод на участке слияния рек Харьков и Лопань

№ точки	Адрес точки, географ. коорд.	Геоморфологич. расположение	Геологическое строение	Устан. уровень грунтовой воды		Год изысканий
				Глубина от поверхности, м	Абс.отм., м	
1.	Пер.Банний, 2. 9эт.дом, 49.9866 СШ, 36.2276 ВД	р. Харьков	мелкозернистые светло-серые и желтовато-серые пески, местами илистые, с тонкими прослойками ила, с линзами супесей и глин	4,2-5,0	98,6-99	1965
2.	Пер.Банний, 1. жилой дом, 49.9866 СШ, 36.2273 ВД	р. Харьков	насыпной строительный и нестроительный грунт.	2,7-3,5	103,08-104,31	1978, 1987
3.	Пер.Банний. Детск.сад 49.9862 СШ, 36.2283 ВД	р. Харьков	насыпной строительный и нестроительный грунт.	2,7-3,5	100,8-100,0	1978
3а.	Пер.Банний, 2. Жил.дом 49.9862 СШ, 36.2283 ВД	р. Харьков	насыпной строительный и нестроительный грунт.	2,5-3,2	103,55-104,13	1987
4.	Пер.Банний. Инж.сети 49.9874 СШ, 36.2270 ВД	р. Лопань	аллювиальные отложения, глина.	1,1-3,53	99,70-103,76	1978
5.	Пл. Павловская, 2 (Р.Люксембург), 49.9865 СШ, 36.2284 ВД	слияние р. Лопань и р. Харьков	четвертичные аллювиальные пески, покрытые с поверхности насыпными грунтами мощностью до 4,8м и подстилаемые палеогеновыми глинами, залегающими на глубине около 12 м.	2,6-3,3	100,05-100,40	2001
6.	монумент «Независимости Украины» на пл. Розы Люксембург 49.9871 СШ, 36.2281 ВД	р. Лопань	четвертичные пески и заторфованные суглинки, перекрытые с поверхности насыпными грунтами и подстилаемые глинами палеогенового возраста.	2,9-3,0	101,4	2001
7.	пл.Павловская (Р.Люксембург), 1/3. ЦУМ, 49.9879 СШ, 36.2295 ВД	слияние р. Лопань и р. Харьков	неоген-четвертичные песчано-глинистые отложения, подстилаемые палеогеновыми глинами и перекрытые с поверхности насыпными суглинистыми грунтами с включением строительного мусора.	1,9-2,1	103,15-103,8	2006
8.	Начало пл.Сергеевской (Пролетарская) 49.9876 СШ, 36.2281 ВД	р.Лопань	четвертичные пески и палеогеновые глины, насыпные грунты.	2,30-4,30	100,0-102,32	1993
9.	Ул.Университетская/ Павловская пл. 49.9876 СШ, 36.2302 ВД	Слияние р. Лопань и р. Харьков	четвертичные пески и палеогеновые глины, перекрытые с поверхности насыпными грунтами и суглинками с примесью растительных остатков.	1,8-2,0	104,25-105,15	2016
10.	Ул.Университетская, 31, 49.9871 СШ, 36.2302 ВД	слияние р. Лопань и р. Харьков	четвертичные пески и палеогеновые глины, перекрытые с поверхности насыпными грунтами и суглинками с примесью растительных остатков.	1,3	103,4	2016
11.	Ул.Кооперативная 1а, 49.9864 СШ, 36.2309 ВД	р. Харьков	Четвертичные аллювиальные песчано-глинистые отложения и глины обуховской и киевской свит палеогена.	0,9-1,2	103,2-103,4	2002
12.	ул.Университетская 35/2, 49.9860 СШ, 36.2308 ВД	р. Харьков	Четвертичные аллювиальные песчано-глинистые отложения и глины обуховской и киевской свит палеогена.	2,4-3,0	101,70-102,05	1965
12а	ул.Университетская 35/2, 49.9860 СШ, 36.2308 ВД	р. Харьков	Четвертичные аллювиальные песчано-глинистые отложения и глины обуховской и киевской свит палеогена.		100,59-100,63	1981
12б	ул.Университетская 35/2, 49.9860 СШ, 36.2308 ВД	р. Харьков	Четвертичные аллювиальные песчано-глинистые отложения и глины обуховской и киевской свит палеогена.		100,70-101,95	1988
13.	Пл.Рыбная/ ул.Университетская, 49.9851 СШ, 36.2283 ВД	р. Харьков	четвертичные аллювиальные отложения и современные насыпные грунты, которые перекрывают аллювиальные отложения слоем мощностью от 1,3 до 4,8м.	2,5-3,9	100,02-101,00	1988

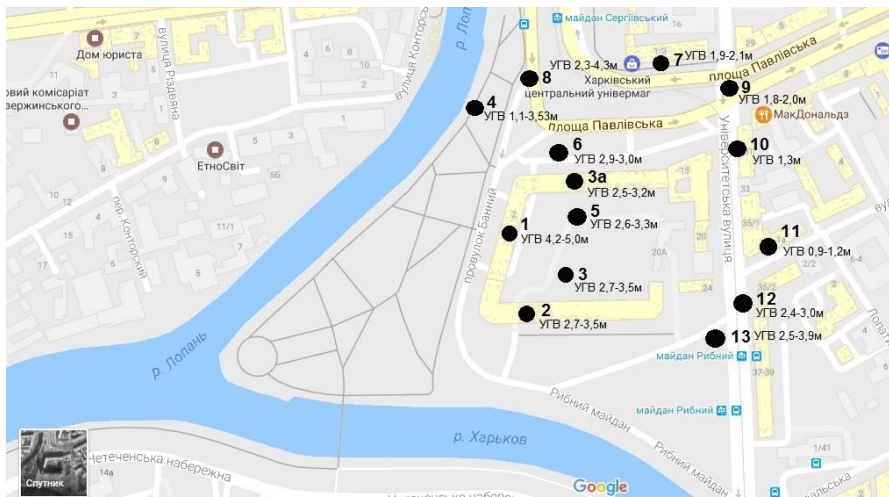


Рис. 1. Уровни грунтовых вод в точках контроля на участке слияния рек Лопань и Харьков

Авторами была создана математическая модель [14], которая учитывает все существенные статьи водного баланса: инфильтрацию атмосферных вод, дополнительное питание в грунтовые воды, транспирацию, испарение и водоотбор из подземных вод.

Приведем дифференциальное уравнение и граничные условия математической модели. График изменения уровня грунтовых вод представлен на рис. 2.

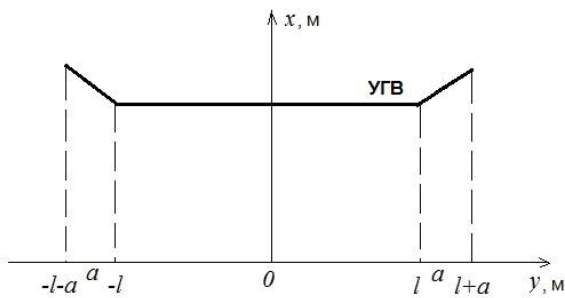


Рис. 2. Схема изменения УГВ рівня грунтових вод. Вид сбоку.

На участках $[-l-a \div -l]$ и $[l \div l+a]$ происходит воздействие природных и техногенных факторов на изменение УГВ; на участках $[-l \div 0]$ и $[0 \div l]$ не происходит воздействия на уровень грунтовых вод благодаря искусственным покрытиям.

Уравнение фильтрационного напора имеет вид

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \gamma^2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0, \tag{1}$$

где h – уровень грунтовых вод, x, y – координаты, на рис. 1, γ – коэффициент анизотропии.

Поскольку моделирование выполняется для ограниченных участков городской территории (промышленных объектов, зданий и т.д.), имеющих однородные гидрогеологические условия, то можно принять, что боковой приток и отток равны между собой, поэтому

$$\begin{cases} \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=l+a} = 0 \\ \left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{y=-l-a} = 0 \end{cases},$$

Начальный уровень принимается за точку отсчета, $h=0$

$$h \Big|_{x=0} = 0,$$

Принимаем, что на участках $-l \div 0$ та $0 \div l$ не происходит инфильтрации, водоотбора, транспирации и испарения через искусственные покрытия.

$$\frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{-l \leq x \leq l} = 0.$$

На участках $[-l-a \div -l]$ и $[l \div l+a]$ происходит инфильтрация, водоотбор, транспирация и испарение

$$\frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{l \leq y \leq l+a} = f_1 + s_1 - g_1 - d_1 - k_1,$$

где f_1 – дополнительное питание грунтовых вод (приходная часть баланса грунтовых вод); s_1 – количество осадков, инфильтрующихся в грунтовые воды (приходная часть баланса грунтовых вод); g_1 – интенсивность транспирации (расходная часть баланса грунтовых вод); d_1 – интенсивность испарения (расходная часть баланса грунтовых вод); k_1 – водоотбор из грунтовых вод (расходная часть баланса грунтовых вод). Аналогичное условие ставим на участке $[-l-a \div -l]$, обозначая соответствующие параметры водного баланса с индексом 2.

Дополнительные комплексные факторы, которые понадобятся для адаптации математической модели, имеют следующие значения, согласно [12]:

– количество осадков, инфильтрующихся в грунтовые воды $s_1 = 1,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут.
 – интенсивность транспирации $g_1 = 0,15 \div 1,47$ г/дм²·год = $6,25 \cdot 10^{-8}$ кг/м²·сут.
 – интенсивность испарения $d_1 = 0,21$ г/дм²·год = $8,75 \cdot 10^{-8}$ кг/м²·сут.
 – коэффициент анизотропии $\gamma = 1$.
 – величина дополнительного питания $f_1 = 0,7$ м/рік = $1,9 \cdot 10^{-3}$ м/сут.
 – величина водоотбора из грунтовых вод $k_1 = 19743$ м³/доб = $6,6 \cdot 10^{-5}$ м/сут.
 Выбираем для расчетов участок 300×300 м, на котором расположены точки контроля УГВ.

5. Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные расчеты с помощью пакета Maple, позволили получить величину изменения уровня Δh для исследуемого участка, которая составляет 0,00015 м / сутки (рис. 3).

На 1-й год подъем уровня составит 0,055 м, а на 50й год – уже 2,74 м. Визуализация изменения УГВ на этом участке представлена на рис. 3.

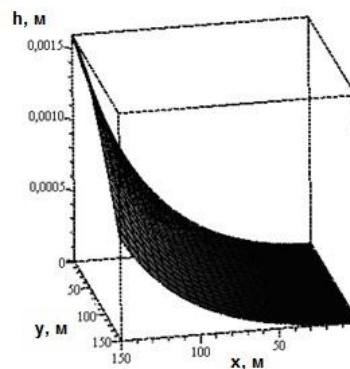


Рис. 3. Изменение УГВ на участке исследования. 3Д модель УГВ

Сравним прогнозируемое и реальное значения изменения уровней в точках контроля № 1 и № 5, № 2 и № 10, № 8 и № 6. Сравнение мониторинговых данных с прогнозируемыми по изменению УГВ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Реальное и прогнозное изменение УГВ

№ точки	Абс. отм. УГВ, м	Год исследования, гг.	Интервал времени, лет	Реальное изменение УГВ, м	Прогнозное изменение УГВ на модели, м
2	103,08	1978	38	1,4–2,2	2,08
10	103,4	2016			
1	99,7	1965	36	1,6–1,7	1,97
5	100,05	2001			
8	100,0–102,32	1993	8	–0,6–1,3	0,44
6	101,4	2001			

В целом, можно видеть неплохую сходимость натуральных и модельных данных. Случай, когда расчетные значения превышают мониторинговые, по мнению авторов, можно объяснить усилением роли фактора эвапотранспирации, который на модели задан не зависящим от глубины УГВ.

6. Выводы

1. Проанализированы данные мониторинга УГВ для участка центральной части города Харькова.

2. Сделан прогноз изменения УГВ на исследуемом участке с помощью модели, созданной ранее, и сравнены прогнозируемые и реальные значения изменения уровней грунтовых вод в различных точках контроля.

3. Результаты расчетов на модели дают близкие к реальным мониторинговым значениям уровни грунтовых вод. Это указывает на адекватность созданной модели реальным натурным условиям.

Литература

- Чебанов, А. Ю. Поиск эффективных решений проблемы подтопления городов [Текст] / А. Ю. Чебанов // Коммунальное хозяйство городов. – 2002. – № 47. – С. 133–138.
- Стрижельчик, Г. Г. Подтопление в населенных пунктах Харьковской области [Текст] / Г. Г. Стрижельчик, Ю. П. Соколов, И. А. Гольдфельд, А. Ю. Чебанов, Н. С. Николенко. – Х., 2003. – 160 с.
- Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП [Текст]. – Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». – Київ, 2017. – 100 с.
- Серікова, О. М. Додаткове живлення підземних вод у великих містах України на прикладі міста Харкова [Текст] / О. М. Серікова, О. О. Стрельнікова, В. В. Яковлев // Коммунальное хозяйство міст. – 2016. – № 130. – С. 13–18.
- Сологаев, В. И. Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве [Текст]: монография / В. И. Сологаев. – Омск, 2002. – 416 с.
- Абрамов, С. К. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве [Текст] / С. К. Абрамов, Б. М. Дегтярев, Е. С. Дзекцер, Г. В. Донской, А. Ж. Муфтахов; под ред. С. К. Абрамова. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.
- Погребняк, А. И. Заключение «Реконструкція майдану Павловського на ділянці від вул. Університетської до майдану Пролетарського. Проект» [Текст] / А. И. Погребняк. – Харьков, 2016.
- Тищенко, А. Н. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке реконструируемого здания на пл. Р. Люксембург, 1/3 в г. Харькове [Текст] / А. Н. Тищенко, С. Г. Быков. – Харьков, 2006.

9. Соколов, В. А. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке торгового центра по ул. Кооперативной в г. Харькове [Текст] / В. А. Соколов, В. П. Дроздов. – Харьков, 2002.
10. Чунихин, В. Г. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке строительства жилдома по пер. Банному в г. Харькове [Текст] / В. Г. Чунихин, В. А. Соколов. – Харьков, 1987.
11. Чунихин, В. Г. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке инженерных сетей к жилдому и детскому саду по пер. Банному в г. Харькове [Текст] / В. Г. Чунихин, В. К. Смоляга. – Харьков, 1978.
12. Неделько, А. А. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на стройплощадке жилого 9-ти этажного дома по пер. Банному в г. Харькове [Текст] / А. А. Неделько, В. В. Шумеев, Л. Б. Колодинский, В. Г. Пугачев, В. Ф. Катречко. – Харьков, 1965.
13. Соколов, В. А. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке проектируемого монумента «Независимости Украины» на пл. Розы Люксембург в г. Харькове [Текст] / В. А. Соколов, Ю. Б. Лисиченко. – Харьков, 2001.
14. Серикова, Е. Н. Математическое моделирование изменения уровней грунтовых вод в городах с учетом ведущих режимобразующих факторов [Текст] / Е. Н. Серикова, Е. А. Стрельникова, В. В. Яковлев // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2014. – № 4 (51). – С. 182–191.
15. Чунихин, В. Г. Отчет об инженерно-геологических изысканиях для строительства жилого дома и детского сада по пер. Банному в г. Харькове [Текст] / В. Г. Чунихин, М. В. Бабаев. – Харьков, 1978.
16. Чунихин, В. Г. Отчет об Инженерно-геологических изысканиях для реконструкции территории ограниченной площадью Пролетарской и пер. Ботанический в г. Харькове [Текст] / В. Г. Чунихин, В. А. Соколов. – Харьков, 1993.

Дата надходження рукопису 15.09.2017

Серикова Елена Николаевна, инженер по охране окружающей среды, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского, 2/10, г. Харьков, Украина, 61046
E-mail: elena.kharkov@mail.ru

Стрельникова Елена Александровна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского, 2/10, г. Харьков, Украина, 61046
E-mail: elena15@gmx.com

Яковлев Валерий Владимирович, доктор геологических наук, главный гидрогеолог, ООО «Лаборатория качества воды «ПЛАЯ», ул. Ганны, 10, г. Харьков, Украина, 61001
E-mail: yakovlev030157@gmail.com

Анищенко Людмила Яковлевна, доктор технических наук, НИУ «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: l_anishenko@ukr.net

Писня Леонид Андреевич, кандидат технических наук, НИУ «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: leonid_pisnya@ukr.net