

УДК 627.81:624.131.6

**Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Баев**

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

**М. Ю. Косиченко**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

## **РАСЧЕТ ПОДПОРА ГРУНТОВЫХ ВОД МЕЖДУРЕЧНОГО МАССИВА ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕЙСЯ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА**

Целью работы является оценка влияния фильтрационных вод на подъем уровня грунтовых вод, а также определение степени возможного подтопления населенных пунктов и хозяйственных объектов, расположенных в непосредственной близости от водохранилища. Для расчета подпора грунтовых вод использовался метод Н. Н. Веригина, разработанный на основе линейаризации дифференциального уравнения Буссинеска. Данный метод расчета реализован в программном комплексе «Mathcad». Расчеты подпора грунтовых вод проводились на примере междуречья рек Цна и Лесной Тамбов в районе Тамбовского водохранилища и г. Котовска. На основании проведенного сопоставления расчетных данных с результатами наблюдений по пьезометрическим скважинам до наполнения водохранилища и после него можно сделать вывод об адекватности данного метода расчета натурным данным наблюдений. Относительная ошибка в расчетах не превышает 4 %, что находится в пределах точности замеров УГВ в наблюдательных скважинах. Проведенные расчеты при различных уровнях воды в водохранилище (от 124 до 128 м) позволяют сделать вывод о том, что при современных эксплуатационных уровнях воды в водохранилище выход грунтовых вод на поверхность земли в г. Котовске не произойдет. При повышении уровня воды в водохранилище до 126-128 м будет происходить постепенное повышение уровней грунтовых вод на всей территории г. Котовска, в том числе на южном участке города. Как показывают прогнозные расчеты на период до 100 лет, уровень грунтовых вод по улице Южной поднимется до 120,56 м при 126 м и до 120,95 м при 128 м, что приведет к выходу грунтовых вод на поверхность слоем от 25 до 90 см.

Ключевые слова: фильтрация, уровень грунтовых вод, подтопление, водохранилище, скважина, подпор.

**Yu. M. Kosichenko, D. V. Baklanova, O. A. Bayev**

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation

**M. Yu. Kosichenko**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk, Russian Federation

## **CALCULATING GROUND WATER HEAD OF BETWEEN-RIVERS MASSIF UNDER UNSTEADY FILTRATION FROM RESERVOIR**

The aim of the work is to estimate the influence of filtrating water on the rise of ground water level and determine the extent of possible flooding of settlements and economic objects adjacent to water reservoirs. To calculate the head of ground water, the method of N. N. Verigin was used. This method was developed on the basis of linearization of differen-

tial equation of Bussineska. The given calculating method was carried out by software Mathcad. The calculations of ground water head were made by the example of rivers Tsna and Lesnoy Tambov near Tambov reservoir and Kotovsk city. Comparing the calculating data and results of piezometric monitoring before and after reservoir filling we conclude the adequacy of the given calculating method on field monitoring data. The relative error in calculations doesn't exceed 4 % what is within the limits of accuracy for ground water measuring in monitoring bores. Calculations at different water levels in reservoir (from 124 to 128 m) enable to conclude that the output of ground waters to the surface in Kotovsk city will not occur at modern operation water levels in reservoir. Increasing of reservoir water level up to 126-128 m will provide the gradual increasing of ground water levels at the whole territory of Kotovsk, including the south part of the city. The predictive calculations for 100 year period show that the rising of ground water level on Yuzhnaya Street up to 120.56 m at 126 m and up to 120.95 m at 128 m will provide the output of ground water to the surface by a layer of 25 to 90 cm.

Keywords: filtration, ground water level, flooding, reservoir, bore, water head.

При проектировании, строительстве и эксплуатации водохранилищ важной проблемой является прогнозирование и оценка влияния фильтрационных вод на подъем уровня грунтовых вод, а также определение степени возможного подтопления населенных пунктов и хозяйственных объектов, расположенных в непосредственной близости от водохранилища.

Результаты исследований в области подтопления территорий фильтрационными водами водохранилищ приведены в работах Н. Н. Веригина [1, 2], С. К. Абрамова [2], А. И. Голованова [3], А. В. Ищенко [4], Ю. М. Косиченко [5, 6] и других.

Для решения задач неустановившегося движения грунтовых вод со свободной поверхностью применяется дифференциальное уравнение Буссинеска [1, 2], которое для одномерного потока в однородной пористой среде при наличии инфильтрационного питания имеет вид:

$$k \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \omega = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$h$  – глубина грунтовых вод относительно водоупора, м;

$H$  – напор грунтовых вод, м;

$\omega$  – модуль инфильтрационного питания атмосферными осадками и

грунтовыми водами;

$\mu$  – недостаток насыщения грунта.

Уравнение Буссинеска (1) является нелинейным, вследствие чего его решение, даже при сравнительно простых граничных и начальных условиях, связано со значительными трудностями. Ввиду этого, для решения конкретных задач обычно приводят это уравнение к линейному, применяя тот или иной способ линеаризации.

Наилучший способ линеаризации дифференциального уравнения (1) был предложен Н. Н. Веригиным. Он заключается во введении новой функции, связанной с глубиной потока грунтовых вод следующим соотношением:

$$U = \frac{h^2}{2}.$$

После такой замены в уравнении (1) было получено линейное дифференциальное уравнение, которое известно в теории теплопроводности, как уравнение Фурье:

$$a \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + b = \frac{\partial U}{\partial t}, \quad (2)$$

где  $a = \frac{kh_s}{\mu}$ ;  $b = \frac{\omega h_s}{\mu}$ .

В результате решения уравнения (2) Н. Н. Веригиным [1, 2] были получены основные зависимости (3) и (4) для расчета подпора грунтовых вод для случая с ограниченным грунтовым потоком, который соответствует расчетной схеме междуречного массива при неустановившейся фильтрации из водохранилища к реке:

- глубина грунтового потока в любом сечении:

$$h = \sqrt{h_e^2 + (h_2^2 - h_1^2) \left[ 1 - \frac{x}{L} - S\left(\tau, \frac{x}{L}\right) \right]}; \quad (3)$$

- подпор грунтовых вод:

$$z = h - h_e, \quad (4)$$

где  $h_e = \sqrt{h_1^2 - 2 \frac{q_0}{k} x - \frac{\omega}{k} x^2}$ ;

$$\frac{q_0}{k} = - \left[ \frac{h_2^2 - h_1^2}{2L} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega}{k} \cdot L \right];$$

$S\left(\tau, \frac{x}{L}\right)$  – функция, принимаемая по [1];

$h_1, h_2$  – глубины грунтового потока в начальном и конечном сечении междуречного массива;

$L$  – расстояние междуречного массива от водохранилища до реки по геолого-литологическому профилю;

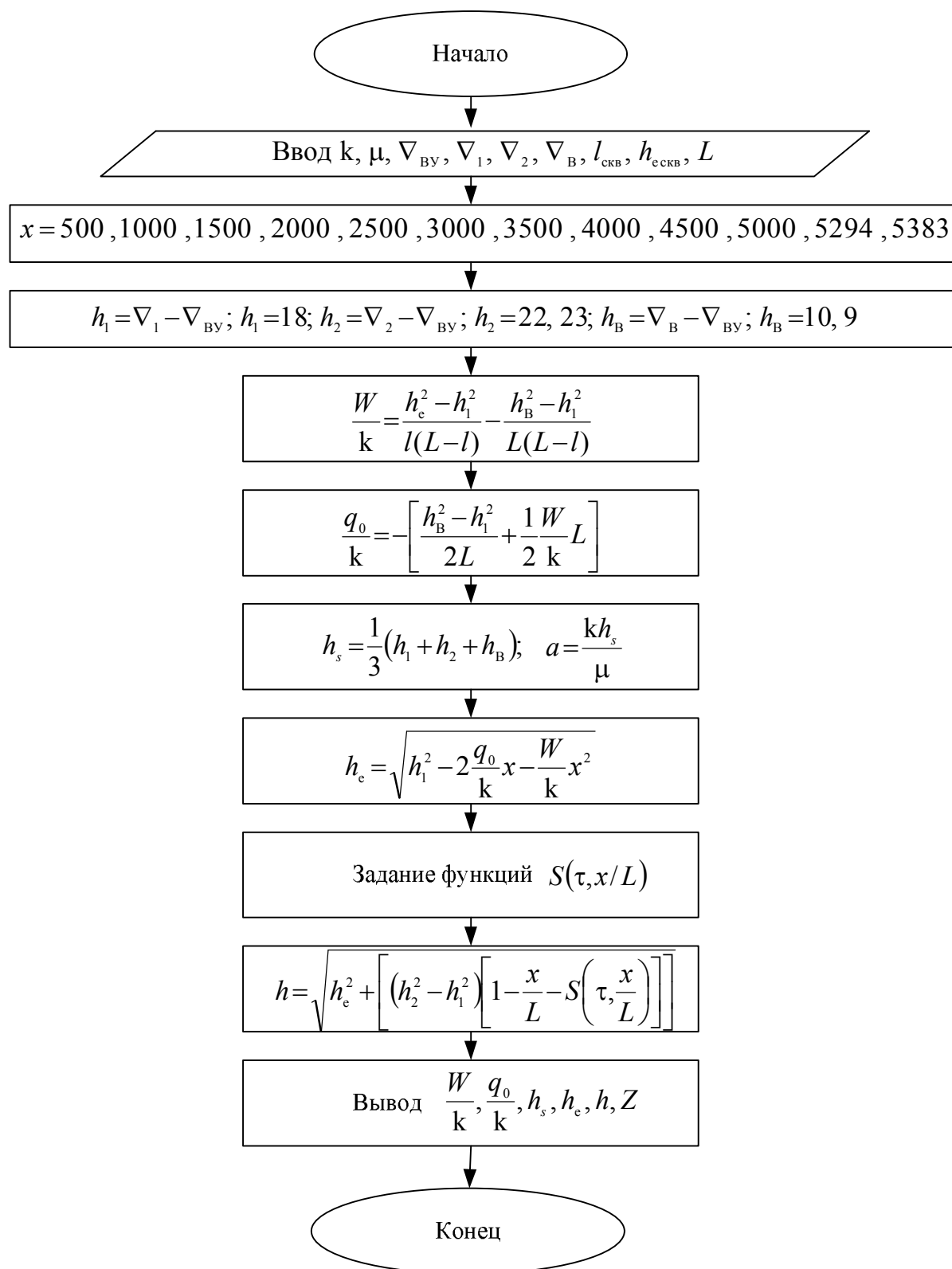
$h_e$  – глубина естественного грунтового потока до наполнения водохранилища.

Для расчета подпора грунтовых вод авторами разработана компьютерная программа в программном комплексе «Mathcad» на основе метода Н. Н. Веригина [1] для условий ограниченного грунтового потока (междуречного массива), которая включает следующие этапы: задание исходных данных, получение результатов расчета, построение графиков изменения уровней грунтовых вод. Алгоритм расчета подпора УГВ приведен на рисунке 1.

Рассмотрим расчеты подпора грунтовых вод на примере фильтрации из Тамбовского водохранилища и ее влияния на подтопление междуречья рек Цна и Лесной Тамбов и г. Котовска. Схема расположения наблюдательных скважин приведена на рисунке 2.

Принятая расчетная схема геолого-литологического профиля водораздела междуречья рек Лесной Тамбов и Цна приведена на рисунке 3.

Расчеты проводились при пяти разных отметках нормального эксплуатационного уровня воды в Тамбовском водохранилище:  $\nabla \text{УВ} = 124, 125, 126, 127, 128$  м.



**Рисунок 1 – Алгоритм расчета подпора УГВ для междуречного массива**

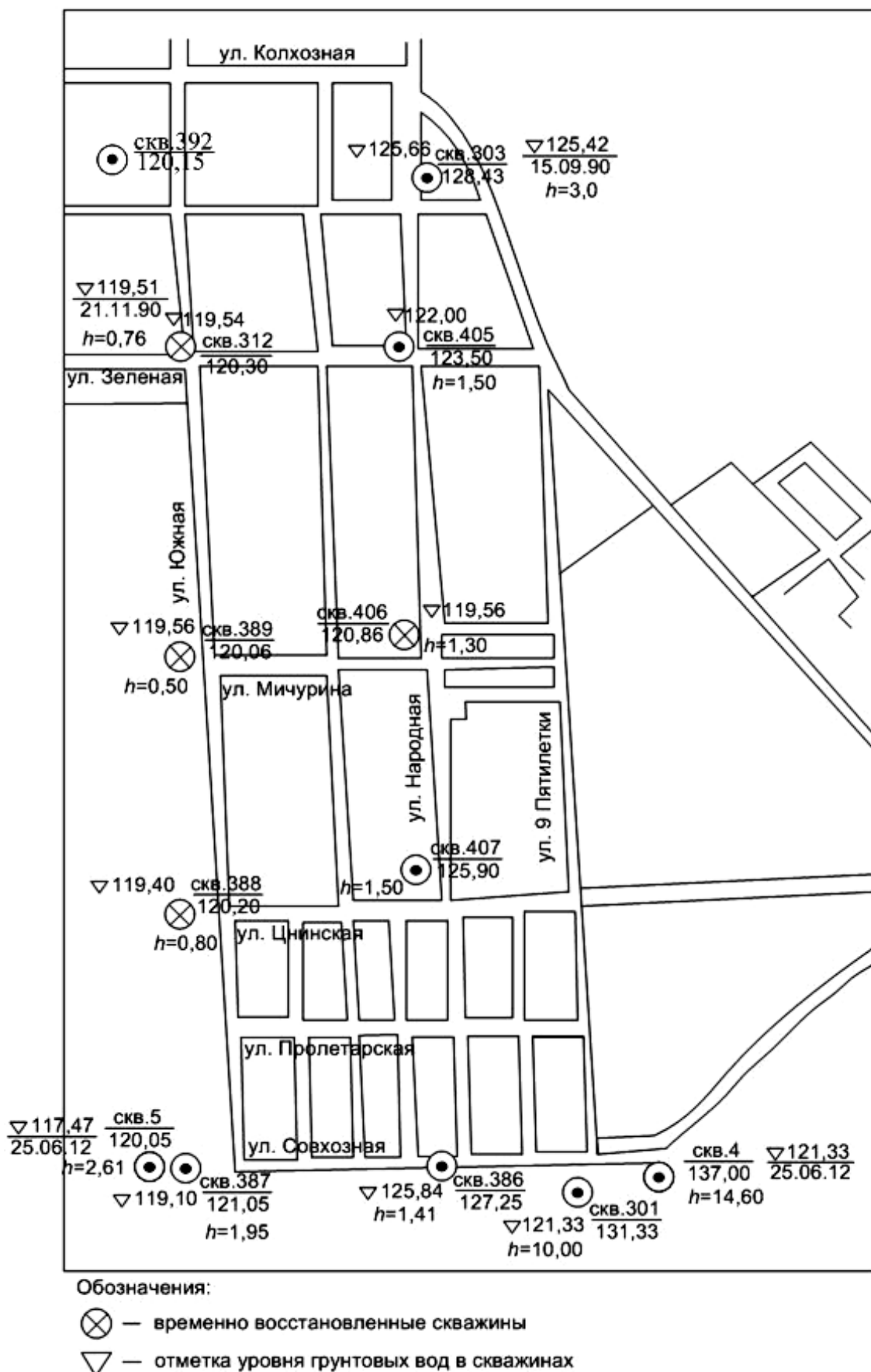
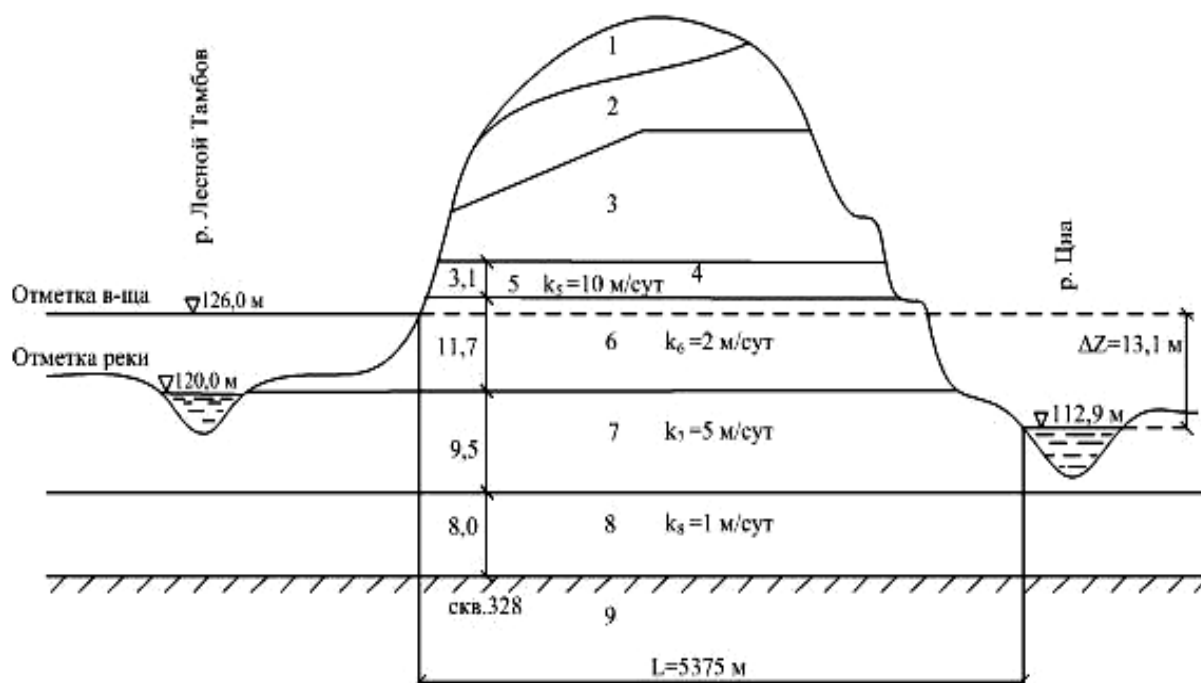


Рисунок 2 – Схема расположения наблюдательных скважин в г. Котовске



1-9 – геологические слои: 1-2 – аллювиальный водоносный комплекс;  
3-5 – водно-ледниковый водоносный комплекс; 6-8 – терригенный водоносный комплекс; 9 – водоупор

**Рисунок 3 – Расчетная схема геолого-литологического профиля II-II водораздела междуречья рек Лесной Тамбов и Цна**

Кроме того, в состав исходных данных, необходимых для расчета, входят отметки уровня воды в реках Лесной Тамбов  $\nabla УВ_{P1} = 120,0$  м и Цна  $\nabla УВ_{P2} = 112,9$  м; отметка водоупора  $\nabla ВУ = 102$  м; данные наблюдений по скважине 392 –  $\nabla УГВ = 120,15$  м,  $l = 4810$  м; дополнительные данные по скважине 312 –  $\nabla УГВ = 119,5$  м,  $l = 4510$  м, а также осредненный (средневзвешенный) коэффициент фильтрации слоев терригенного водоносного комплекса  $k$ , определяемый по зависимости:

$$k = \frac{k_6 m_6 + k_7 m_7 + k_8 m_8}{m_6 + m_7 + m_8} = \frac{2 \cdot 5,52 + 5 \cdot 9,5 + 1 \cdot 8}{5,52 + 9,5 + 8} = 2,89 \text{ м/сут,}$$

где  $k_6, k_7, k_8$  – коэффициенты фильтрации отдельных слоев литологического профиля;

$m_6, m_7, m_8$  – мощности отдельных слоев литологического профиля.

Данные по коэффициентам фильтрации отдельных слоев и их мощности были получены на основании ранее проведенных изысканий.

Ввод задаваемых параметров производился в пять этапов: на I этапе – отметка уровня воды в водохранилище  $\nabla УВ = 124$  м, на II этапе –  $\nabla УВ = 125$  м, на III этапе –  $\nabla УВ = 126$  м, на IV этапе –  $\nabla УВ = 127$  м, на V этапе –  $\nabla УВ = 128$  м. Соответственно, также по этапам задавались глубины воды в водохранилище  $h_1$  и  $h_2$ : I этап –  $h_1 = 18$  м,  $h_2 = 22$  м; II этап –  $h_1 = 18$  м,  $h_2 = 23$  м; III этап –  $h_1 = 18$  м,  $h_2 = 24$  м, на IV этапе –  $h_1 = 18$  м,  $h_2 = 25$  м, на V этапе –  $h_1 = 18$  м,  $h_2 = 26$  м.

Время задавалось в пределах  $t = 5, 15, 25, 50, 100$  лет, абсцисса –  $x = 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5294, 5383$  м.

Основные используемые формулы для расчета приведены на рисунке 1.

Результаты расчета включают:

- определение модуля инфильтрационного питания  $\omega/k$ , где  $\omega$  – модуль инфильтрационного питания, м/сут;  $k$  – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

- определение естественного расхода грунтового потока у реки  $q_0/k$ ;

- определение осредненной глубины  $h_s$ , м, и определение коэффициента пьезопроводности  $a$ ;

- определение глубины естественного грунтового потока  $h_e$ ;

- определение глубины подпора грунтовых вод при соответствующих отметках НПУ  $h_{126}, h_{127}, h_{128}$  и величины подпора  $z = h - h_e$ .

По результатам расчета построены графики изменения уровней грунтовых вод  $\nabla УГВ = f_1(x, t)$  и подпора грунтовых вод  $z = f_2(x, t)$ .

Для оценки адекватности расчетной модели подпора грунтовых вод по выбранному методу расчета Н. Н. Веригина для условий ограниченного грунтового потока (междуречного массива) были проведены специальные сопоставительные расчеты уровней грунтовых вод после наполнения Тамбовского водохранилища с использованием разработанной компьютерной



программы. В задачи оценки адекватности модели входило сравнение расчетных данных при различных уровнях воды в водохранилище (124, 125, 126, 127 и 128 м) с данными имеющихся наблюдений за временными скважинами 1990-1991 гг. до наполнения водохранилища (скв. 328, 329, 308, 313, 303, 312, 392, 305), а также с последними данными наблюдений 2012 г. за постоянными скважинами (скв. 4, 5, 312, 389, 388, 387) после наполнения водохранилища при отметке воды в водохранилище 126 м.

Таким образом, для проверки адекватности применяемой расчетной модели были использованы результаты наблюдений по 14 пьезометрическим скважинам, кроме того, использовались результаты ранее проведенных исследований на геофильтрационной модели ООО «Гидропроект-Изыскания».

Исследование подпора грунтовых вод осуществлялось для четырех геолого-литологических профилей, которые представлены на рисунке 4.

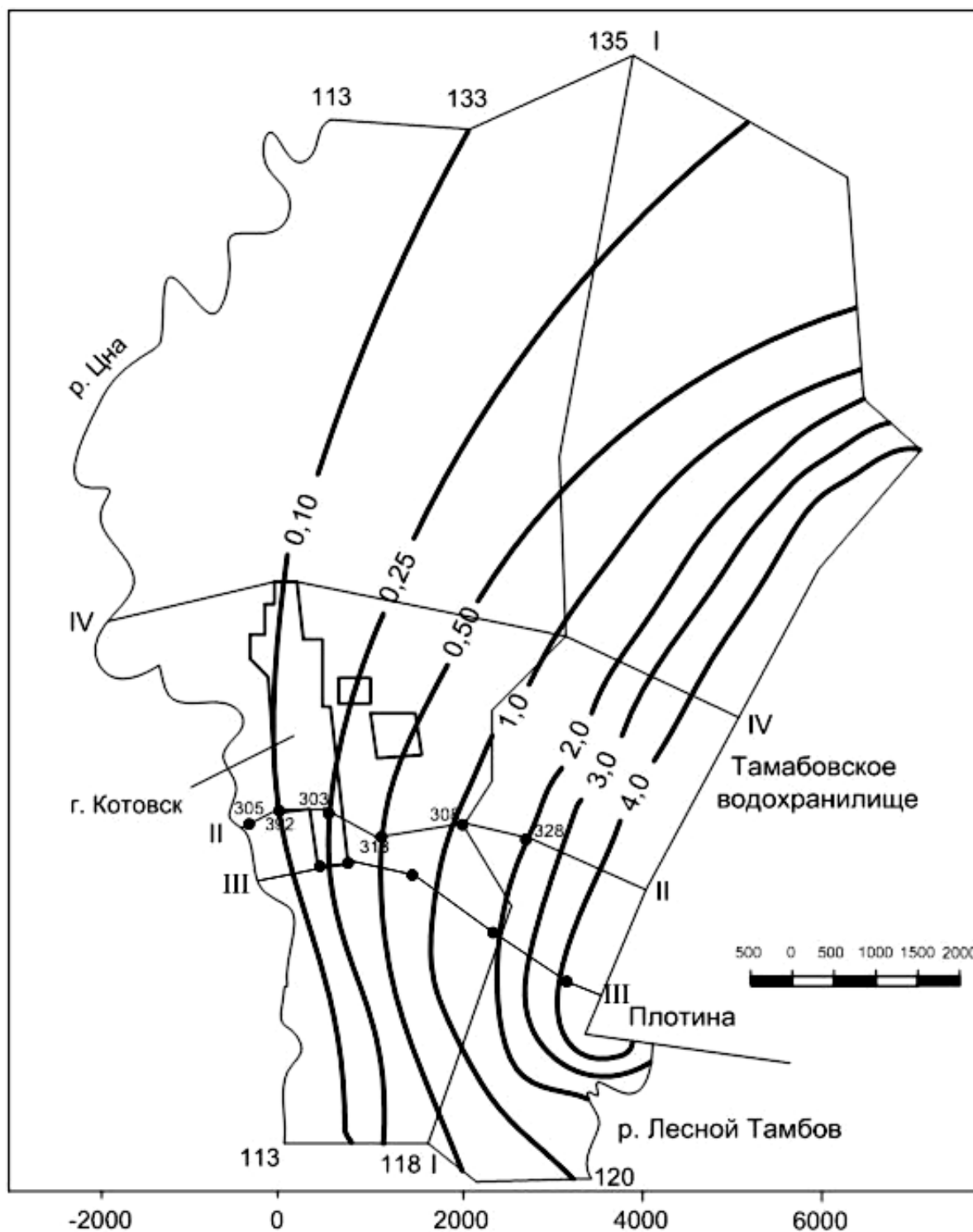
Результаты сопоставления расчетных данных уровней грунтовых вод с данными наблюдений по скважинам и данными исследований на геофильтрационной модели приведены в таблицах 1 и 2.

Анализ сопоставления расчетных данных уровней грунтовых вод при подпоре по разработанной программе для геолого-литологического профиля II-II с данными наблюдений по скважинам в таблице 1 позволяют заключить, что они достаточно близко совпадают, если учесть вероятность их повышения в скважинах ориентировочно на 0,30-2,00 м после наполнения водохранилища в зависимости от уровня воды.

В таблице 2 приводится сравнение расчетных значений уровней грунтовых вод при подпоре с современными данными наблюдений за период до 20.10.2012 г., а также с результатами исследований на геофильтрационной модели.

Для скважин 4 и 5 на литологическом профиле III-III имеется хорошая сходимость результатов расчета с данными наблюдений при одном и

том же уровне воды в водохранилище 126 м. Отклонение расчетных данных и наблюдаемых за уровнем грунтовых вод составляет не более 4 %.



**Рисунок 4 – Схема расположения геолого-литологических профилей на водоразделе и в г. Котовске и результаты исследований гидроизогипс при фильтрации из Тамбовского водохранилища**

**Таблица 1 – Сопоставление данных УГВ при подпоре для ограниченного грунтового потока с данными наблюдений для геолого-литологического профиля II-II (при  $\omega = 84,1$  мм/год для скв. 392;  $t = 25$  лет)**

Данные наблюдений по скважинам 1990-1991 гг. до наполнения водохранилища				Расчетные данные УГВ при подпоре после наполнения водохранилища до отметок УВБ, м						Геофильтрационная модель при $\nabla 128$ м (по данным ООО «Гидропроект-Изыскания»)	Расхождение расчетных данных и геофильтрационной модели $\delta$ , %
№ скв.	$x$ , м	$\nabla_{\text{УСТЬЯ}}$ , м	$\nabla_{\text{УГВ ест.}}$ , м	При $\nabla 126$ м	$Z_{126}$ , м	При $\nabla 127$ м	$Z_{127}$ , м	При $\nabla 128$ м	$Z_{128}$ , м		
Урез вдхр. скв. 329	0	125,79	120,49	126,00	-	127,00	-	128,00	-	128,00	-
Скв. 328	1565	161,18	129,00	130,05	2,19	130,48	2,62	130,93	3,06	128,20	$\frac{18,08}{12,08}$
Скв. 308	2521	165,30	128,80	129,98	1,18	130,23	1,43	130,49	1,69	127,50	$\frac{19,80}{13,23}$
Скв. 313	3695	139,22	128,24	127,06	0,45	127,16	0,55	127,28	0,66	125,00	$\frac{15,10}{10,09}$
Скв. 303	4217	128,00	<u>125,66</u>	124,37	0,28	124,44	0,36	<u>124,52</u>	0,43	123,00	$\frac{10,07}{6,73}$
Скв. 312	4510	120,30	<u>119,54</u>	<u>119,80</u> *	0,22	<u>119,86</u> *	0,32	<u>119,92</u> *	0,38	122,00	$\frac{13,77}{9,20}$
Скв. 392	4810	122,00	<u>120,15</u>	<u>120,21</u>	0,11	<u>120,24</u>	0,14	<u>120,27</u>	0,16	118,00	$\frac{15,03}{10,04}$
Скв. 305	5294	116,00	<u>113,61</u>	<u>113,90</u>	0,29	<u>113,92</u> *	0,30	<u>113,92</u> *	0,31	112,50	$\frac{9,40}{6,28}$
Урез р. Цна	5383	112,90	-	112,90	0	112,90	0	112,90	0	112,00	$\frac{5,96}{3,98}$

Примечание – \* – расчет выполнен для условий местного инфильтрационного питания при  $\omega=49,4$  мм/год для скв. 312, скв. 305; 120,06 – данные расчетов достаточно близко совпадают с наблюдениями по скважинам с учетом образования подпора после наполнения водохранилища в пределах 0,3-2,0 м. Расхождение данных в числителе соответствует разности уровней на водоразделе и в р. Цна  $\Delta H=15,1$  м, а в знаменателе –  $\Delta H_{\text{max}}=22,6$  м.

**Таблица 2 – Сравнение расчетных данных УГВ при подпоре с данными наблюдений 2012 г. и результатами моделирования на геофильтрационной модели**

Данные наблюдений по скважинам 2012 г. после наполнения водохранилища до $\nabla$ 126 м				Данные моделирования подпора УГВ при отметке НПУ водохранилища, м				
№ скв.	x, м	$\nabla$ устья, м	$\nabla$ УГВ набл при УВ = 126 м	$\nabla$ УГВ расч при УВ = 126 м	Откл. расч. от набл. $\delta$ , %	$\nabla$ УГВ расч при УВ = 128 м	$\nabla$ УГВ геоф. при УВ = 128 м	Откл. расч. от геоф. модели $\delta$ , %
Литологический профиль III-III								
Скв. 4	3520	137,00	122,4	123,02	4,1	123,48	122,00	9,8
Скв. 5	4086	120,05	117,47	117,31	- 1,0	117,55	118,00	- 2,9
Урез р. Цна	4346	-	112,9	112,9	-	112,9	-	-
Южный район г. Котовска (по ул. Южной)								
Скв. 312	4510	120,30	119,70	119,80	0,10	119,92	122,00	- 13,7
Скв. 389	4550	120,06	119,76	119,88	0,12	120,05	122,15	- 13,9
Скв. 388	4500	120,20	119,60	119,73	0,13	120,10	122,18	- 13,8
Скв. 387	4520	121,05	119,65	119,81	0,16	120,20	122,35	- 14,2

С другой стороны, при сопоставлении расчетных данных с геофильтрационной моделью при одинаковом уровне воды 128 м отклонение несколько возрастает, но не превышает 10 %.

Для южного района г. Котовска (скв. 312, 389, 388, 387, расположенные по ул. Южной) также наблюдается хорошая сходимость расчетных данных и данных наблюдений по временно восстановленным скважинам, выполненным экспедицией сотрудников ФГБНУ «РосНИИПМ» в 2012 году. На этом участке исследований также проводилось сравнение расчетных и модельных (полученных на геофильтрационной модели) результатов, которое показало отклонение их в пределах 13-14 %, что можно считать удовлетворительной сходимостью.

На основании проведенного сопоставления расчетных данных при подпоре грунтовых вод по разработанной на основе методики Н. Н. Веригина программе с результатами наблюдений по 14 пьезометрическим скважинам до наполнения водохранилища и после него можно сделать вывод об адекватности расчетной модели натурным данным наблюдений. Относительная ошибка в расчетах не превышает 4 %, что находится в пре-

делах точности замеров УГВ в наблюдательных скважинах.

Что касается сравнения данных расчета с данными наблюдений для геолого-литологического профиля II-II, то здесь отклонение результатов увеличивается до 9-14 % при разности уровней  $\Delta H = 15,1$  м и снижается до 6-10 % при максимальной разности УГВ на водоразделе и в р. Цна  $\Delta H_{\max} = 22,6$  м. Эти отличия можно объяснить неучетом в последней модели изменения уровней грунтовых вод во времени с прогнозом до 25 лет и принятыми различными значениями модуля инфильтрационного питания.

На основании проведенных расчетов подпора грунтовых вод в разработанной компьютерной программе для геолого-литологических разрезов II-II, III-III и IV-IV были получены основные результаты изменения уровней грунтовых вод в различных точках профиля и величины подпора в этих точках за периоды времени  $t = 5, 15, 25, 50, 100$  лет, которые представлены для профиля II-II на рисунке 5 при отметке уровня воды в водохранилище 126 м.

Анализ полученных результатов на рисунке 5 показывает, что изменение уровней грунтовых вод на участке от уреза водохранилища и далее происходит в сторону повышения и, достигая максимума на расстоянии 2000 м, постепенно снижается, резко изменяясь на западном склоне водораздела в районе г. Котовска на расстоянии от водохранилища 3500-4000 м. Это обусловлено образованием купола грунтовых вод на водоразделе с отметками его гребня, превышающими отметки уровня воды в водохранилище.

По результатам расчета наибольшие значения УГВ получены вблизи водохранилища на расстоянии до 1500 м от уреза, составляющие от 0,5 до 6,0 м, которые с увеличением расстояния постоянно снижаются к концу рассматриваемого профиля до минимума на территории г. Котовска при  $x = 4000-4500$  м, не превышая 0,5-1,0 м.

Используя полученные данные, можно прогнозировать изменение уровней грунтовых вод на срок до 100 лет, что соответствует сроку службы водохранилища II класса.

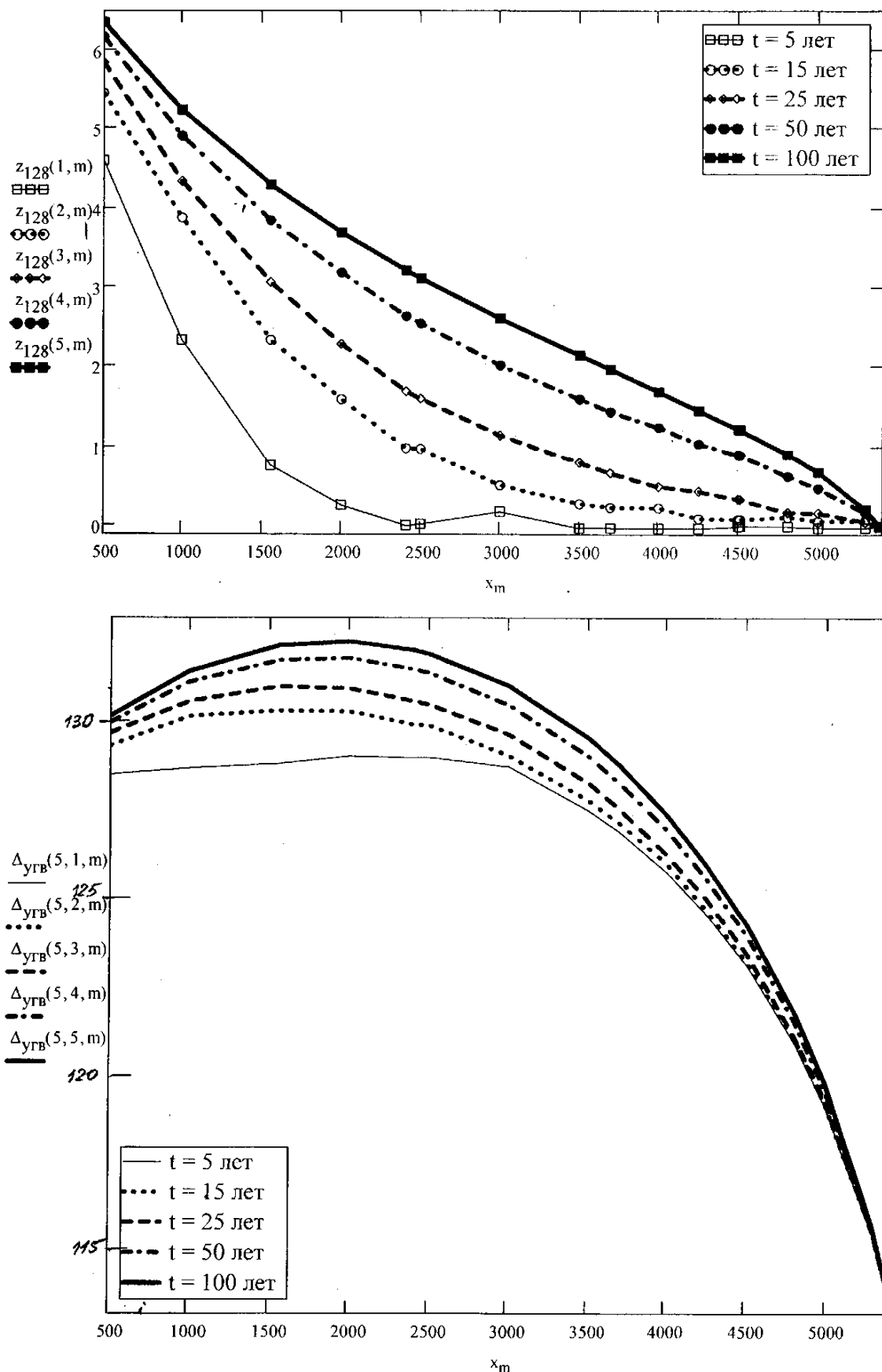


Рисунок 5 – Графики изменения подпора  $Z_{128} = f(x, t)$  и уровней грунтовых вод  $\nabla_{УГВ} = f(x, t)$  при наполнении водохранилища до  $\nabla_{УВ} = 128$  м (профиль II-II)

Рассматривая изменение величины подпора грунтовых вод в зависимости от времени эксплуатации водохранилища, можно отметить, что для многих точек характерно значительное увеличение подпора  $Z$  на период 100 лет в несколько раз по отношению к начальному периоду ( $t = 5$  лет).

Так, при наполнении водохранилища до отметки 127 м в начальный период эксплуатации в этом режиме подпор на участке г. Котовска ( $x \geq 4253$  м) полностью отсутствует, а для периода  $t = 25$  лет уже составит от 0,35 до 0,04 м и при периоде  $t = 100$  лет возрастет до значений 1,25-0,18 м.

Отмеченные выше закономерности согласуются с теорией движения безнапорных грунтовых вод как установившегося, так и не установившегося фильтрационного потока [7-10]. Проведенные расчеты подпора грунтовых вод для геолого-литологических профилей II-II и IV-IV позволяют сделать объективный анализ состояния уровней грунтовых вод в Южном и Северном районах г. Котовска.

В таблице 3 приведены результаты расчета уровней грунтовых вод при подпоре для профиля II-II, проходящего через Южный район г. Котовска. Как свидетельствуют эти данные, на участке водораздела на расстоянии от уреза более 3000 до 5383 м подпор грунтовых вод по расчету составляет 0,26-0,66 м в зависимости от уровня воды в водохранилище.

Непосредственно на территории г. Котовска более существенный подпор прослеживается в районе ул. Южной (скв. 312) и вблизи берега р. Цна (скв. 305). Величина подпора по ул. Южной изменяется от 0,13 м при отметке воды в водохранилище 124 м до 0,38 м при отметке – 128 м. Эти результаты подтверждаются исследованиями на геофильтрационной модели, согласно которым подъем уровней грунтовых вод на этом участке при 128 м составит 0,50 м.

Подпор в районе скв. 305 с увеличением уровня воды в водохранилище практически остается постоянным и изменяется в пределах 0,27-0,31 м.

**Таблица 3 – Результаты расчета УГВ при подпоре для геолого-литологического профиля II-II  
(при  $\omega = 84,1$  мм/год для скв. 392)**

Данные наблюдений в 1990-1991 гг.				Расчетные данные УГВ при подпоре, м									
№ скв.	$x$ , м	$\nabla$ устья (пов. земли), м	$\nabla$ УГВ ест., м	При $\nabla$ 124 м	$Z_{124}$ , м	При $\nabla$ 125 м	$Z_{125}$ , м	При $\nabla$ 126 м	$Z_{126}$ , м	При $\nabla$ 127 м	$Z_{127}$ , м	При $\nabla$ 128 м	$Z_{128}$ , м
Урез вдхр. скв. 329	0	125,79	120,49	124,00	-	125,00	-	126,00	-	127,00	-	128,00	-
Скв. 328	1557	161,18	129,00	129,25	1,39	129,64	1,78	130,05	2,19	130,48	2,62	130,93	3,06
Скв. 308	2408	165,30	128,80	129,53	0,73	129,75	0,95	129,98	1,18	130,23	1,43	130,49	1,69
Скв. 313	3697	139,22	128,24	126,88	0,26	126,96	0,35	127,06	0,45	127,16	0,55	127,28	0,66
Скв. 303	4253	128,00	125,66	124,25	0,16	124,30	0,22	124,37	0,28	124,44	0,36	124,52	0,43
Скв. 312 (ул. Южная)	4510	120,30	119,54	119,69*	0,13	119,74*	0,18	119,80*	0,22	119,86*	0,33	119,92*	0,38
Скв. 388, 389 (ул. Южная)	4500- 4550	120,06	119,56	-	-	-	-	120,55**	1,02	120,75**	1,21	120,95**	1,41
Скв. 392	4810	122,00	120,15	120,06	0,07	120,19	0,09	120,21	0,11	120,24	0,14	120,27	0,16
Скв. 305	5294	116,00	113,61	113,88*	0,27	113,89*	0,28	113,90*	0,29	113,91*	0,30	113,92*	0,31
Урез р. Цна	5383	112,90	-	112,9	0	112,9	0	112,90	0	112,90	0	112,90	0

Примечание – \* – расчеты проводились для условий местного инфильтрационного питания при  $\omega=49,4$  мм/год для скв. 312 и скв. 305; \*\* – прогнозные расчеты на срок эксплуатации водохранилища до 100 лет.



При этом следует отметить, что в районе ул. Южной (скв. 312), и особенно в месте пересечения ул. Южной и ул. Мичурина (скв. 389), (см. рисунок 2) уровень грунтовых вод при уровне воды в водохранилище 126-128 м практически выходит на поверхность (глубина залегания уровней грунтовых вод от поверхности составляет от 0,50 до 0,14 м), что также подтверждается проведенными авторами натурными исследованиями 12-15.11.2012 г.

### **Выводы**

Разработаны метод расчета подпора грунтовых вод при неустановившейся фильтрации из водохранилища и компьютерная программа в программном комплексе «Mathcad»; метод реализован на примере расчета фильтрации из Тамбовского водохранилища и подтопления г. Котовска в междуречье рек Цна и Лесной Тамбов.

На основании проведенных расчетов подпора грунтовых вод при различных расчетных уровнях воды в водохранилище (от 124 до 128 м) (см. таблицу 3) можно сделать вывод о том, что при современных эксплуатационных уровнях воды в водохранилище  $\nabla \text{УВ} = 124$  и  $125$  м выход грунтовых вод на поверхность земли в г. Котовске не произойдет. Наиболее близкое положение УГВ наблюдается по ул. Южной, где отмечается залегание грунтовых вод от поверхности земли (скв. 312) на глубине 55-60 см.

При повышении уровня воды в водохранилище до 126, 127 и 128 м будет происходить постепенное повышение уровней грунтовых вод на всей территории г. Котовска, в том числе на южном участке города. Как показывают прогнозные расчеты, на период до 100 лет уровень грунтовых вод по улице Южной поднимется до 120,56 м при 126 м и до 120,95 м при 128 м, что приведет к выходу грунтовых вод на поверхность слоем от 25 до 90 см, поскольку почти на всем протяжении улицы отмечаются наиболее низкие отметки поверхности земли – от 120,06 м до 120,30 м.

### Список использованных источников

- 1 Фильтрация из водохранилищ и прудов / С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Г. А. Разумов, Б. Шержуков; под ред. Н. Н. Веригина. – М.: Колос, 1975. – 304 с.
- 2 Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий / С. К. Абрамов, Н. Н. Биндеман, Ф. М. Бочевер, Н. Н. Веригин. – М.: Госстройиздат, 1960. – 319 с.
- 3 Голованов, А. И. Методические указания по проектированию инженерной защиты городской территории от затопления и подтопления / А. И. Голованов. – М.: МГУП, 1996. – 66 с.
- 4 Ищенко, А. В. Исследование влияния фильтрации из водохранилищ на подтопление населенных пунктов [Электронный ресурс] / А. В. Ищенко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3(11). – 10 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru>.
- 5 Прогноз влияния Юмагузинского водохранилища на подтопление населенных пунктов в речной долине / Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, В. Л. Бондаренко, А. З. Абуханов // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2003. – № 4. – С. 62-67.
- 6 Косиченко, Ю. М. Оценка уровня фильтрационной безопасности земляных плотин и эффективность инженерной защиты малых водохранилищ / Ю. М. Косиченко, В. А. Белов, М. Ю. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2001. – 58 с.
- 7 Климентов, П. П. Динамика подземных вод / П. П. Климентов, В. М. Кононов. – М.: Высшая школа, 1973. – 433 с.
- 8 Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
- 9 Шестаков, В. М. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях / В. М. Шестаков, И. С. Пашковский, А. М. Сойфер. – М.: Недра, 1982. – 244 с.
- 10 СП 104.13330.2012. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986 г. – 60 с.

---

**Косиченко Юрий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке, Российский научно-исследовательский проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.  
Контактный телефон: 8 (8635) 26-65-00.  
E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Kosichenko Yuriy Mikhaylovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.  
Contact telephone number: 8 (8635) 26-65-00.  
E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Бакланова Дарья Викторовна** – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.  
Контактный телефон: 8 (8635) 26-65-00.  
E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Baklanova Darya Viktorovna** – Researcher, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.  
Contact telephone number: 8 (8635) 26-65-00.  
E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Баев Олег Андреевич** – аспирант, младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 26-65-00.

E-mail: Oleg-baev1@yandex.ru

**Баев Олег Андреевич** – Postgraduate Student, Junior Researcher, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 (8635) 26-65-00.

E-mail: Oleg-baev1@yandex.ru

**Косиченко Михаил Юрьевич** – кандидат технических наук, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 928-109-90-03.

E-mail: Kosichenko-11@mail.ru

**Kosichenko Mikhail Yuryevich** – Candidate of Technical Sciences, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: 8 928-109-90-03.

E-mail: Kosichenko-11@mail.ru