

of Water Harvesting Schemes for Plant Production, FAO – Rome, 1991 // <http://www.fao.org/3/U3160E/u3160e00.htm#Contents>

9. **Martin Smith**, CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management, FAO Irrigation and drainage paper 46, Rome 1992. // [Электронный ресурс]. URL: [https://books.google.it/books?id=p9tB2ht47NAC&pg=PP1&source=kp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.it/books?id=p9tB2ht47NAC&pg=PP1&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

The material was received at the editorial office  
15.09.2020

### Information about the authors

**Domullodzhanov Daler Khamidovich**, applicant for the institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of the Republic of Tajikistan, national consultant for the Food and Agriculture Organization of the United Nations; [daler79@gmail.com](mailto:daler79@gmail.com)

**Rahmatilloev Rahmonkul**, doctor of agricultural sciences, professor of the department of operation of hydro engineering structures of the hydro reclamation faculty, Tajik agrarian university named after Sh. Shotemur; [rahmonkul@gmail.com](mailto:rahmonkul@gmail.com)

УДК 502/504:556.3:626/627

DOI 10.26897/1997-6011/2020-5-109-116

**Н.П. КАРПЕНКО, М.А. ШИРЯЕВА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПРОГНОЗА ПОДПОРА ГРУНТОВЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Цель работы заключается в рассмотрении методов расчета прогноза подпора грунтовых вод в зоне влияния гидротехнических сооружений. Проведен анализ аналитических зависимостей расчета прогноза подпора грунтовых вод для различных расчетных схем. Для однородной схемы геофильтрационного строения предложена численная модель и разработана вычислительная программа расчета подпора грунтовых вод, позволяющая в дискретном режиме рассчитать подпор грунтовых вод от канала на любой момент. Для упрощения решения задачи расчета подпора грунтовых вод была создана компьютерная программа для ЭВМ на языке программирования Python Version 8.3, которая оперативно решает данную гидрогеологическую задачу. Предложен возможный диапазон геофильтрационных параметров, необходимый для расчета подпора грунтовых вод вблизи магистральных каналов. Адаптация и реализация программной модели проводились для конкретного объекта – Большого Ставропольского канала-5, для которого были проведены прогнозные расчеты. Результаты прогнозных расчетов подпора грунтовых вод являются основой для оценки зон возможного подтопления – территории, в пределах которой повышается уровень подземных вод в результате их подпора гидротехническим сооружением.*

*Гидротехнические сооружения, грунтовые воды, подпор, геофильтрационные параметры, аналитические методы, численная модель, вычислительная программа.*

**Введение.** Одной из важнейших практических задач при проектировании гидротехнических сооружений, искусственных водоемов и водохранилищ, а также оросительных каналов на мелиоративных системах является прогнозирование водного режима в зоне аэрации и режима грунтовых вод.

Существенное влияние на формирование режима подземных вод оказывают гидротехнические сооружения, водохранилища,

искусственные водоемы и магистральные оросительные каналы, вблизи которых формируется зона подпора, приводящая к подтоплению прилегающей территории. Необходимым элементом технологии проектирования мелиоративных систем является информационно-методическое обеспечение проектирования, включающее в себя систему методов прогнозирования водного и солевого режима почв и зоны аэрации, а также

компьютерные программы по расчету прогноза подпора грунтовых вод вблизи магистральных каналов.

Цель работы – рассмотрение и анализ аналитических зависимостей расчета прогноза подпора грунтовых вод вблизи гидротехнических сооружений для различных расчетных схем и разработка вычислительной программы расчета подпора грунтовых вод, позволяющей в дискретном режиме рассчитать подпор грунтовых вод от канала на любой момент. Актуальность проблемы связана с востребованностью современных вычислительных средств по расчету подпора грунтовых вод вблизи гидротехнических сооружений, результаты которых позволяют рассчитать зоны подтопления и затопления с оценкой геоэкологического ущерба.

#### Материал и методы исследований.

Общая постановка задачи прогнозирования изменения гидродинамического режима требует разработки геофильтрационных схем и проведения схематизации природных условий. Проведение схематизации природных условий предполагает упрощение (формализацию) реальных природных и инженерно-мелиоративных условий для дальнейших расчетов подпора грунтовых вод. В процессе схематизации устанавливается: характер протекания фильтрационного процесса во времени (стационарный, нестационарный, квазистационарный); пространственная структура потока (плановый, профильный, пространственный); характер гидравлической взаимосвязи водоносных горизонтов; граничные условия (внешние и внутренние I, II, III родов); фильтрационные параметры отложений (водопроницаемость, емкостные и другие параметры); величина инфильтрационного питания.

На водных границах обычно необходимо определить постоянный или меняющийся во времени напор (граничное условие I рода); граничное условие II рода – это условие постоянства расхода на границе; условиями третьего III рода являются условия учета сопротивления ложе водоема. Однако в реальной обстановке граничные условия на водных границах являются более сложными ввиду несовершенства их вреза в водоносный горизонт. Для учета этого несовершенства предлагается удлинять фильтрационный поток на некоторое значение  $\Delta L$  так, чтобы фильтрационное сопротивление дополнительной длины потока было эквивалентным реальному фильтрационному сопротивлению.

Важным элементом схематизации является выявление характера литологической неоднородности среды, определяющей расчетную схему. Как правило, неоднородность фильтрационных свойств проявляется в разрезе и характеризуется упорядоченным и неупорядоченным изменением гидрогеологических параметров. При упорядоченной неоднородности отмечаются постепенное изменение параметров природной среды с глубиной или закономерная смена хорошо и слабо проницаемых слоев. Неупорядоченная литологическая неоднородность отмечается наличием сложнослоистых образований [1, 2].

Исходной информацией для построения расчетных фильтрационных схем служат материалы изысканий (геолого-гидрогеологические карты и разрезы, карты литолого-генетических комплексов, литологические разрезы и колонки и т.д.). Построение фильтрационных схем следует выполнять в пределах единого геолого-генетического комплекса.

При решении задач фильтрации, как правило, рассматриваются две наиболее часто встречаемые типовые схемы строения водоносных пластов по вертикали: схема сравнительно однородного потока на горизонтальном водоупоре (схема Дюпюи) и схема двухслойного строения среды с постоянной проводимостью. Кроме того, выделяются многослойные толщи (или толщи с беспорядочной неоднородностью), поток которых можно непосредственно приводить к однородной толще при условии, когда соотношение проницаемости отдельных слоев составляет порядка 10...20.

На первом этапе в схематизируемом литологическом разрезе следует выделить водоупорный слой. За водоупорный принимается слой, имеющий коэффициент проводимости  $\beta = \frac{K}{h} \leq 10^{-4} \text{сут}^{-1}$ , где  $K$  – коэффициент фильтрации слоя, м/сут.;  $h$  – высота слоя (мощность, м), и в дальнейшем рассматривается толща выше этого слоя. Если такой слой отсутствует, то необходимо рассматривать весь литологический разрез до регионального водоупора, который выявляется на основе изысканий или фондовых материалов. Неоднородная толща пород заменяется эквивалентной однородной при использовании эмпирических критериев.

В слоистом литологическом разрезе определяется слой с минимальным коэффициентом фильтрации и проводится сравнение с ним коэффициентов фильтрации каждого слоя. Для слоисто-неоднородных

пластов при приведении ее к однородной толще может использоваться критерий в виде соотношения коэффициента фильтрации  $k_i$  или водопроницаемости  $T_i$  [3, 4]:

$$\frac{k_i}{k_{\min}} < 10$$

$$\frac{T_i}{T_{\min}} < 10 \quad (1)$$

Если выполняется это условие, то толщина может считаться однородной. Для каждой толщи следует определять суммарные мощности, проводимость и средневзвешенное значение коэффициентов фильтрации:

$$h = \sum_{i=1}^n h_i$$

$$T = \sum_{i=1}^n k_i h_i \quad (2)$$

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n k_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

В случае, когда соотношение  $\frac{k_i}{k_{\min}} \geq 10$  хотя бы для одного слоя, мы имеем случай слоистой толщи. Для получения расчетной схемы слоистой толщи необходимо определить, какие из слоев следует выделить в самостоятельные, а какие объединить. Слои следует объединять, если при попарном их сравнении отношение большего коэффициента фильтрации к меньшему будет меньше 5. Попарное сравнение коэффициентов фильтрации выполняется сверху вниз. Если соотношение коэффициентов фильтрации слоев больше 5, слои не объединяются. Далее проводится сравнение нижнего слоя с последующими слоями по тому же критерию.

Осредненная величина расчетного коэффициента фильтрации может быть определена по следующим зависимостям: для неоднородных пластов

$$k = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2 + \dots + k_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (3)$$

для слоистых пластов

$$k = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2 + \dots + k_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (4)$$

где  $k_1 \dots k_n$  – коэффициенты фильтрации отдельных участков или слоев;  $m_1 \dots m_n$ ;  $F_1 \dots F_n$ .

Оценку однородности двухслойной толщи и сведение ее к однородной можно проводить по следующему критерию. Если выполняется критерий  $\frac{k_b t}{\mu h_{cp}} > 5$  (где  $k_b$  – коэффициент фильтрации покровных отложений;  $m$  – гравитационная водоотдача или недостаток насыщения;  $h_{cp}$  – мощность грунтовых вод в покровных отложениях;  $t$  – время), то двухслойный пласт может быть представлен как однородный с водопроницаемостью нижнего хорошо проницаемого пласта и гравитационной водоотдачей верхнего, слабо проницаемого пласта.

После сравнения всех коэффициентов фильтрации и выделения слоев следует определить наличие разделяющего слоя. Проверка на разделяющий слой выполняется для слоя с минимальным коэффициентом фильтрации по критерию  $\beta = \frac{k}{h} \leq 2 \cdot 10^{-2} \text{сут}^{-1}$ .

Если выделен один или несколько различных слоев, схема принимается как двух- или многопластовая. Для нее следует выполнить оценку гидравлической связи между водоносными горизонтами.

Гидравлическая связь между водоносными горизонтами оценивается по коэффициенту вертикального водообмена, который находится по формуле [5]:

$$\gamma_{\text{во}} = \frac{l}{B} \cdot \frac{\Delta H_a}{\Delta H} \quad (5)$$

где  $B$  – параметр перетекания, определяемый как

$$B = \sqrt{\frac{T h_p}{k_p}} \quad (6)$$

$k_p$  и  $h_p$  – средние значения коэффициента фильтрации и мощности разделяющего слоя;  $T$  – проводимость пласта;  $\Delta H$  и  $\Delta H_a$  – разности уровней между пластами, снимаемые с карты гидроизогипс и гидроизопьез для участка длиной  $l$ .

Если коэффициент вертикального водообмена составляет  $\gamma_{\text{во}} > 20$ , то имеет место напорное питание, и его необходимо учитывать при выборе расчетной схемы.

Выбор метода расчета прогноза режима грунтовых вод в значительной степени зависит от характера границ потока, их формы и граничных условий. Для аналитических методов расчета геометрические очертания области фильтрации должны иметь правильные формы (чаще всего прямолинейные) или сводиться к ним. В расчетной схеме должны приниматься во внимание

только те границы, которые расположены в области возмущения потока на расстоянии, не более чем  $R_r = 3\sqrt{at}$ , где  $a$  – пьезоили уровнепроводность;  $t$  – время работы инженерного сооружения. При гидродинамических прогнозах в качестве основных расчетных схем фильтрационных потоков рассматривают полуограниченный поток, ограниченный поток с постоянным уровнем на верхней границе и ограниченный поток с непроницаемой верхней границей [6].

Завершающей стадией схематизации гидрогеолого-мелиоративных условий является построение расчетной схемы, которая максимально учитывает природные и хозяйственные особенности исследуемого объекта и наряду с внутренней структурой фильтрационного потока учитывает инженерную и мелиоративную нагрузку. На геофильтрационную схему накладываются конкретные мелиоративные мероприятия: горизонтальный, вертикальный, комбинированный дренаж, орошение сельскохозяйственных земель и т.д.

По применяемым методам выполнения прогнозы режима подземных вод подразделяются на методы, составленные на основании аналитических решений дифференциальных уравнений неустановившегося движения, методы численного решения уравнений и компьютерные программы.

*Расчеты подпора грунтовых вод с использованием аналитических зависимостей.* Подпор грунтовых вод – это подъем уровня грунтовых вод, вызванный увеличением гидродинамического напора в каком-либо сечении потока и сопровождаемый уменьшением скорости течения. Иногда подпор грунтовых вод вызывается местным препятствием (плохо проницаемые грунты, сужение сечения потока и др.). Под влиянием искусственных ирригационных сооружений может возникать вторичный постоянный или временный подпор грунтовых вод, вызываемый высокими уровнями воды в каналах, водохранилищах, водоемах и т.д. (рис. 1).

Для магистральных каналов, длина которых намного превышает их ширину, основные расчетные зависимости должны учитывать результаты геофильтрационной схематизации, характер граничных условий, типы фильтрационных потоков и т.д. Вследствие удлиненности каналов фильтрационный поток в сторону от каналов можно рассматривать как одномерный. Кроме того,

при прогнозировании подпора, обусловленного наличием магистральных каналов, во многих случаях справедлива предпосылка о мгновенном наступлении подпертого режима фильтрации. К типовым расчетам относятся наиболее распространенные схемы контуров водоносных пластов в плане: открытого, полукрытого, полуограниченного потоков и ограниченного фильтрационных потоков.

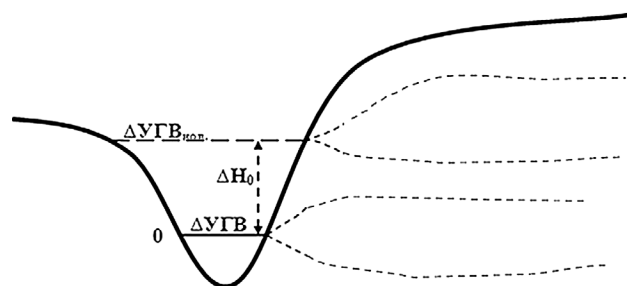


Рис. 1. Схема формирования подпора грунтовых вод вблизи магистрального канала

Основное дифференциальное уравнение стационарной плановой фильтрации описывается нелинейным уравнением для плано-плоского потока в следующем виде [7, 8]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0, \quad (7)$$

где  $H$  – гидравлический напор, м;  $T$  – проводимость пласта, м<sup>2</sup>/сут.

Общее решение уравнения (7) представлено [9, 10] как

$$H(x, t) = H_e + \Delta H(x, t), \quad (8)$$

где  $H_e$  – напоры исходного установившегося потока;  $\Delta H(x, t)$  – изменение напора, вызванное действием каналов.

Рассмотрим решение уравнения фильтрации применительно к основным расчетным схемам. Наибольший интерес с точки зрения определения подпора грунтовых вод в однородном однослойном пласте имеют решения уравнения при мгновенном изменении уровня на границе пласта. Для получения решения уравнения (7) принимается условие теоретически мгновенного заполнения канала и мгновенного наступления стадии подпертой фильтрации, то есть при следующих начальных и граничных условиях:

$$\Delta H(x, 0) = 0 \text{ и } \Delta H(0, t) = \Delta H^0.$$

При мгновенном изменении уровня на границе расчетная формула (решение) имеет общий вид [9]:

$$\Delta H = \Delta H^0 \cdot F(x, t), \quad (9)$$

где  $\Delta H$  – изменение уровня грунтовых вод в наблюдательной скважине, находящейся на расстоянии  $x$  от реки за время  $t$ ;  $\Delta H^0$  – изменение уровня воды в канале при  $x = 0$  за то же время  $t$ ;  $F(x, t)$  – специальные функции, значения которых приведены [7, 9].

Функция  $F(x, t)$  зависит от типа потока, условий на противоположной от канала границе и фильтрационной неоднородности потока по его длине. Граничные условия для линейных в плане потоков устанавливаются применительно к наиболее часто используемым схемам. В открытых потоках на границах задаются изменения напоров, а в полукрытых потоках – изменение напора на одной границе, так как другая считается непроницаемой.

Для полуограниченного однородного потока решение уравнения (7) имеет вид [9]:

$$F(x, t) = \operatorname{erfc} \lambda$$

$$\lambda = \frac{x}{2\sqrt{at}}, \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент уводнепроводности, определяемый как  $a = \frac{Q}{\mu}$ ;  $t$  – время.

*Расчеты подпора грунтовых вод с использованием компьютерных программ.* Для упрощения решения задачи прогнозирования подпора грунтовых вод вблизи линейных магистральных каналов разработана компьютерная программа на языке программирования Python Version 8.3, оперативно решающая данную гидрогеологическую задачу в автоматизированном режиме. Для решения поставленной задачи был выбран простой интерфейс, и в среде программирования Python была написана программа, предоставляющая современную графическую среду для моделирования подпора грунтовых вод вблизи линейного магистрального канала. Разработанная программа позволяет в автоматизированном режиме проводить расчеты прогноза подпора грунтовых вод и представлять результаты прогноза в графическом виде на любой момент. Принципиальная схема работы в программе показана на рисунке 2.

Для построения графика подпора грунтовых вод необходимо ввести исходные расчетные геофильтрационные параметры в заданную форму. Рекомендуемый диапазон параметров представлен в таблице 1.

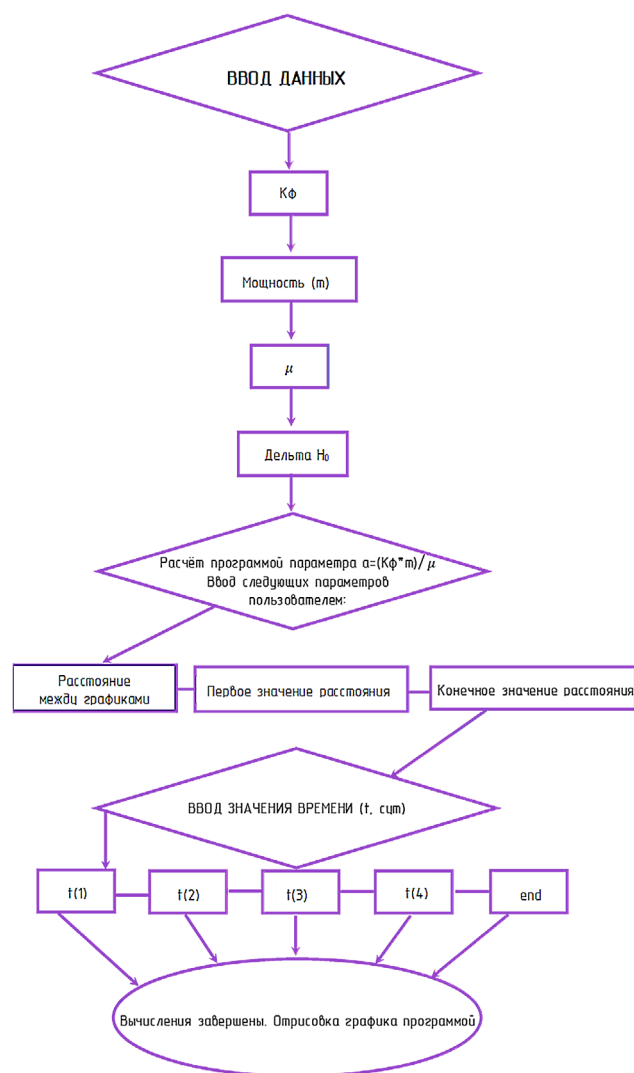


Рис. 2. Принципиальная схема работы программы по автоматизированному расчету прогноза подпора грунтовых вод

Для автоматического расчета подпора грунтовых вод после ввода необходимых параметров значения функции  $F(x, t)$  вносятся в код среды программирования. Данные значений функций  $\operatorname{erfc} \lambda$ , вводимых в код, приведены в работах [7, 9].

Программа позволяет в оперативной режиме проводить дискретную отрисовку графика прогноза подпора грунтовых вод. Преимущество программы состоит в том, что задача расчета подпора грунтовых вод вблизи магистрального канала решается с минимальной потерей времени, и специалисту необходимо лишь ввести исходные данные. Кроме того, график является более точным и в нем отсутствуют нежелательные «вылетающие» точки (если рассматривать в сравнении с программой Excel). Важным достоинством программы также является простой и доступный интерфейс.

**Результаты и обсуждение.** В качестве объекта исследований была выбрана территория строительства и функционирования оросительной системы, расположенной в зоне 5-го участка Большого Ставропольского канала (БСК-5). Обводнительно-оросительная система Большого Ставропольского канала предусматривает орошение на площади 210,0 тыс. га и обводнение территории 2,6 млн га [11].

Расчеты подпора грунтовых вод проводились для магистрального канала (межхозяйственная распределительная сеть), предназначенного для подачи воды на орошение в Благодарненском и Буденновском районах. Канал сооружен в средне- и легкосуглистых

грунтах, длина канала составляет 64 км. Наиболее типичной схемой фильтрационного строения для рассматриваемой территории является схема полуограниченного пласта, для которой проводились расчеты.

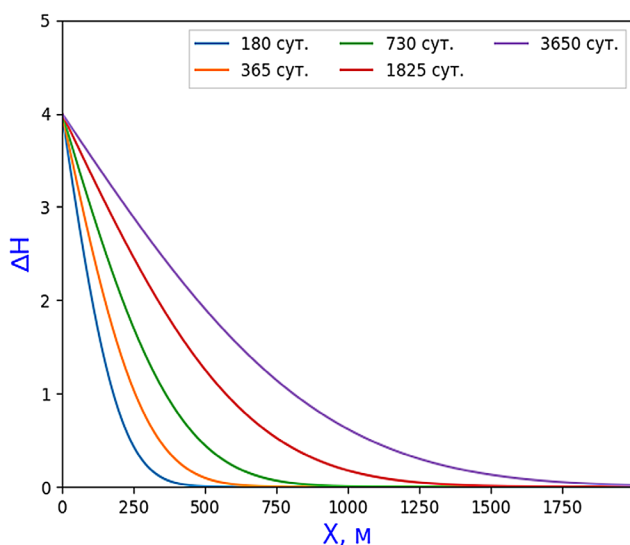
Канал проходит в однородных суглинистых отложениях, имеющих следующие фильтрационные параметры: мощность отложений  $m_B = 6$  м, коэффициент фильтрации  $K_B = 0,1$  м/сут., величина недостатка насыщения  $m = 0,05$ , величина мгновенного подъема уровня в канале  $\Delta H^0 = 4,0$  м. Расчет величины подпора  $\Delta H(x, t)$  на различных расстояниях от уреза канала проводился на стационарный период ( $t = 3650$  сут., или 10 лет).

Таблица 1

**Диапазон вводимых геофильтрационных параметров для автоматизированного расчета прогноза подпора грунтовых вод вблизи магистрального канала**

Наименование вводимого параметра	Диапазон значений
Коэффициент фильтрации ( $k_f$ ), м/сут	0,1...6,0
Величина подъема воды в канале $\Delta H_0$ , м	1...15
Мощность водоносного горизонта (m), м	1...15
Недостаток насыщения ( $\mu$ )	0,05... 0,15
Время прогноза подпора (T), сут	0...3650
Расстояние от канала (X), м	0...5000

Результаты развития подпора грунтовых вод от канала во времени с использованием разработанной модели приведены на рисунке 3.



**Рис. 3. Развитие подпора грунтовых вод во времени с использованием компьютерной модели**

### Выводы

Для расчета подпора грунтовых вод от водохранилищ и водоемов, которые имеют нелинейные контуры, можно использовать аналитические зависимости, однако трудоемкость этих вычислений очевидна. Для однородной схемы геофильтрационного строения предложена компьютерная модель расчета подпора грунтовых вод, позволяющая в дискретном режиме рассчитать подпор грунтовых вод от канала на любой момент и на любом расстоянии от канала. Компьютерная программа разработана для ЭВМ на языке программирования Python Version 8.3, которая для однородной литологической толщи позволяет оперативно решать задачи прогноза подпора грунтовых вод при работе линейных магистральных каналов и водоемов. Реализация программной модели проводилась для конкретного объекта – Большого Ставропольского канала (БСК-5). Результаты прогнозных расчетов подпора грунтовых вод явились основой для оценки зон возможного подтопления – территории,

в пределах которой повышается уровень подземных вод в результате их подпора гидротехническим сооружением.

#### Библиографический список

1. **Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Формирование гетерогенной среды и регулирование режима грунтовых вод в задачах природообустройства: монография. – М.: МГУП, 2013. – 208 с.
2. **Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Учет неоднородности пород зоны аэрации в фильтрационных расчетах дренирования на мелиоративных системах // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 66-72.
3. **Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Фильтрационная расчетная схематизация тонкослоистых сред и надежность инженерных решений // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 65-71.
4. **Карпенко Н.П.** Влияние и учет неоднородности пород зоны аэрации в мелиоративно-гидрогеологических задачах // Мат-лы междунауч. научной конф. посвященной 200-летию Н.И. Железнова. Доклады ТСХА. Вып. 289 (Ч. I). – М.: РГАУ-МСХА, 2017. – С. 289-291.
5. **Гриневский С.О.** Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод: монография. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 152 с.
6. **Жабин В.Ф., Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Особенности определения гидрогеологических характеристик анизотропных сред для расчета дренажа // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 80-87.
7. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев и др. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
8. **Кац Д.М., Шестаков В.М.** Мелиоративная гидрогеология – М.: Агропромиздат, 1988. – 256 с.
9. **Шестаков В.М.** Гидрогеодинамика. – М.: МГУ, 2009. – 334 с.
10. **Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М.** Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 230 с.
11. Фондовая литература. Обводнительно-оросительная система большого Ставропольского канала. Проект. Орошение и сельскохозяйственное освоение земель в зоне 5-го участка Большого Ставропольского канала: Сводная пояснительная записка. Кн. 1. – Пятигорск: Севкавгипроводхоз, 1987. – 298 с.

Материал поступил в редакцию 09.09.2020 г.

#### Сведения об авторах

**Карпенко Нина Петровна**, доктор технических наук, заведующий кафедрой гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Тимирязевская, 49, корп. 28; enpkarpenko@yandex.ru

**Ширяева Маргарита Александровна**, студентка ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская, 49; margaretshiryeva@gmail.com

**N.P. KARPENKO, M.A. SHIRYAEVA**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## METHODS OF FORECAST CALCULATION OF GROUND WATER BACKWATER IN THE ZONE OF HYDRAULIC STRUCTURES INFLUENCE

*The purpose of the work is to consider methods for calculating the forecast of groundwater backwater in the zone of influence of hydraulic structures. The analysis of analytical dependences of calculation of the forecast of groundwater backwater for various calculation schemes is carried out. For a homogeneous scheme of the geofiltration structure, a numerical model is proposed and a computational program for calculating the groundwater backwater is developed. It allows calculating the groundwater backwater from the channel at any time in the discrete mode. To simplify the solution of the problem of calculating the groundwater backwater, a computer program was created in the programming language Python Version 8.3 which quickly solves this hydrogeological problem. A possible range of geofiltration parameters is proposed for calculating the groundwater backwater near main channels. The adaptation and implementation of the software model was carried out for a specific object – the Bolshoy Stavropol channel-5, for which forecast calculations were made. The results of predictive calculations of groundwater backwater are the basis for the assessment of areas of possible*

*flooding – the territory within which the level of ground water increases as a result of their backup by a hydraulic structure.*

*Hydraulic structure, ground water, backwater, geofiltration parameters, analytical methods, numerical model, computer program.*

### References

1. **Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Formirovanie geterogennoj sredy i regulirovanie rezhima gruntovyh vod v zadachah prirodoobustrojstva: monografiya. – M.: MGUP, 2013. – 208 s.

2. **Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Uchet neodnorodnosti porod zony aeratsii v filtratsionnyh raschetah drenirovaniya na meliorativnyh sistemah // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – No. 1. – S. 66-72.

3. **Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Filtration design schematization of thin-layer media and reliability of engineering solutions // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – No. 2. – S. 65-71.

4. **Karpenko N.P.** Vliyanie i uchet neodnorodnosti porod zony aeratsii v meliorativno-gidrogeologicheskikh zadachah. – Mat-ly mezhdun. nauchnoj konf., posvyashchennoj 200-letiyu Zheleznova. Doklady TSHA, vyp. 289 (Chast I). – M.: RGAU-MSHA, 2017. – S. 289-291.

5. **Grinevsky S.O.** Hidrogeodynamicheskoe modelirovanie vzaimodeistviya podzemnyh i poverhnostnyh vod: Monograph. – M.: INFRA-M, 2012. – 152 s.

6. **Zhabin V.F., Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Osobennosti opredeleniya gidrogeologicheskikh haracteristic anisotropnyh sred dlya rascheta drenazha // Prirodoobustrojstvo. – 2010. – No. 3. – S. 80-87.

7. **Osnovy gidrogeologicheskikh raschetov / Bochever F.M., Garmonov I.V., Lebedev A.V. i dr.** – M.: Nedra, 1969. – 368 s.

8. **Katz D.M., Shestakov V.M.** Meliorativnaya gidrogeologiya. – M.: Agropromizdat, 1988. – 256 s.

9. **Shestakov V.M.** Hidrogeodynamica. – M.: MGU, 2009. – 334 s.

10. **Lomakin E.A., Mironenko V.A., Shestakov V.M.** Chislennoe modelirovanie geofiltratsii. – M.: Nedra, 1988. – 230 s.

11. **Fondovaya literatura. OBVODNITELNO-OROSITELNAYA SYSTEMA BOLSHOGO STAVROPOLSKOGO CANALA. PROJECT.** Oroshenie i selskohozyajstvennoe osvoenie v zone 5-go uchastka Bolshogo Stavropolskogo canala. Svodnaya poyasnitelnaya zapiska. Kniga 1. – Pyatigorsk: Sevkavprovodkhoz, 1987. – 298 s.

The material was received at the editorial office  
09.09.2020

### Information about the authors

**Karpenko Nina Petrovna**, doctor of technical sciences, head of the department «Hydrology, hydrogeology and flow regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya, 49, korp. 28; npkarpenko@yandex.ru

**Shiryayeva Margarita Alexandrovna**, student of FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya, 49, korp. 28; margaretshiryeva@gmail.com