

УДК 628.218

**И. Э. Махмудов**

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

**Н. Мурадов**

Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Республика Узбекистан

**А. Эрназаров**

Ташкентский институт ирригации и мелиорации, Ташкент, Республика Узбекистан

### **ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОНЫ ОПРЕСНЕНИЯ ВДОЛЬ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ**

*В статье рассмотрена гидравлическая зависимость определения границ зоны опреснения вдоль ирригационных каналов в условиях неустановившегося движения. При этом динамика потока грунтовых вод оценивалась в целом, без разделения области пресных фильтрационных и засоленных грунтовых вод. С целью изучения фильтрации из каналов применены зависимости для однородного потока грунтовых вод.*

*Ключевые слова: гидравлическая зависимость, зона опреснения вдоль ирригационных каналов, условия неустановившегося движения, фильтрации из каналов.*

В условиях острого дефицита водных ресурсов возникает необходимость поиска альтернативных источников воды, в частности, различных методов мобилизации атмосферных осадков для обеспечения необходимой влагой растений в начальной фазе развития, особенно хлопчатника. Как известно, часть атмосферных осадков за счет инфильтрации попадает в зону аэрации почвенного покрова, а часть влаги испаряется с поверхности земли. Процесс инфильтрации атмосферных осадков сопровождается насыщением влаги растворимыми минеральными элементами, является неустановившимся и зависит, прежде всего, от скорости фильтрации и водоотдачи почвогрунта. Вместе с этим в весенний период проявляется активизация движения грунтовых вод, что обуславливает ускорение их движения по капиллярам к поверхности земли. Исследованиями установлено, что в определенный момент за счет образования на поверхности капиллярной влаги, избыточного давления, а также затруднения водоотдачи почвы ниже подошвы пахотного слоя происходит замедление и остановка движения инфильтрационной влаги. Такое явление обуславливает возникновение в зоне аэрации, между горизонтом грунтовых вод и поверхностью земли, висячих объемов инфильтрационной влаги. В практике земледелия Узбекистана с целью мобилизации висячих горизонтов

влаги и ее направления к растениям используют множество агротехнических приемов. Однако отсутствие достаточных знаний о закономерностях формирования и движения висячей влаги в зоне аэрации не позволяет эффективно применять такие важные ресурсы вод для пользы растений.

Известно также об образовании на территориях с высокой минерализацией грунтовых вод подземных линз пресных вод и, несмотря на их небольшие объемы, они могут эффективно использоваться для водоснабжения сельского населения. Линзы пресных подземных вод формируются как за счет капиллярной влаги, так и за счет фильтрации воды из ирригационных каналов. При фильтрации из крупных каналов сравнительно пресные воды, поступая в грунт и растворяя соли, осолоняются, но при длительной фильтрации в зонах вблизи канала образуются линзы пресных подземных вод. При продолжительной эксплуатации оросительных каналов происходит расширение объема линз пресных подземных вод. Отметим, что некоторые решения, относящиеся к динамике перемещения пресных вод в засоленных грунтах, ввиду возникших математических трудностей, не нашли прикладного применения. В связи с этим возникает необходимость разработки гидравлической зависимости для определения зон образования линз пресных подземных вод вблизи оросительных каналов.

Вопрос об изменении водно-физических свойств грунта в условиях ирригации мало изучен. Однако установлено, что в одних и тех же грунтах пресные фильтрационные воды и грунтовые воды с невысокой степенью минерализации будут передвигаться, подчиняясь примерно одинаковым количественным связям, т. е. для изучения потоков грунтовых вод можно приближенно принять [1]:

$$K_1 \approx K_2; H_{K1} \approx H_{K2} \text{ и } \delta_1 \approx \delta_2,$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации;

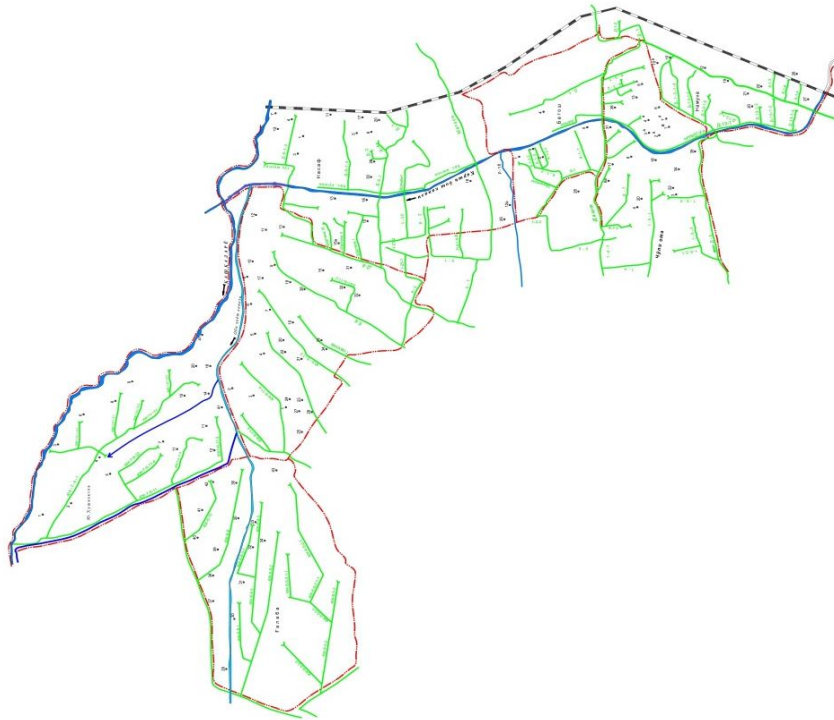
$H$  – максимальная высота капиллярного поднятия;

$\delta$  – коэффициент водоотдачи; индексы относятся: 1 – к движению более пресных фильтрационных вод; 2 – к движению грунтовых вод с невысокой степенью минерализации.

Тогда можно рассматривать динамику потока грунтовых вод в целом, не разделяя области пресных фильтрационных и засоленных грунтовых вод, и с целью изучения фильтрации из каналов применять зависимости для однородного потока грунтовых вод.

Зная скорости движения для исследуемого потока, можно определить сроки перемещения объема линз пресных подземных вод и границы фронта продвигающейся фильтрационной воды. При этом можно пренебречь диффузией растворов и условно принять, что пресные фильтрационные воды целиком замещают засоленные грунтовые воды. В действительности (как нами и наблюдалось в опытах) при вытеснении засоленных грунтовых вод пресными минерализация изменяется постепенно, вследствие чего существует «фронт» продвигающейся пресной воды (начало уменьшения минерализации) и «тыл» перемещающейся зоны рассоления (практически пресная вода). Ввиду неразработанности вопроса динамики этого процесса и, как показали наши опыты, по причине большой ширины описанной переходной зоны для ее сокращения за границу зоны опреснения можно принять ее «фронт», т. е. продвигающуюся поверхность воды в начале процесса уменьшения минерализации. Можно предположить, что вблизи каналов сделанные нами допущения будут иметь незначительные погрешности. Дальнейшая проверка в натурных исследованиях уточнила пределы применимости рекомендуемых решений. Следует отметить, что более точные результаты следует ожидать при определении перемещения горизонтальной границы опреснения и менее точные – вертикальной.

Объектом исследования являлись орошаемые земли вблизи рабочей части Каршинского магистрального канала (КМК) и межхозяйственного ирригационного канала Оби-хаэт (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Схема рабочей части КМК, межхозяйственного канала Оби-хает и зоны опреснения**

Принимая упомянутые выше допущения, создадим гидравлическую модель для определения перемещения фронта зоны опреснения вблизи оросительных каналов в условиях установившегося движения, пользуясь формулами для составляющих скоростей при плоской фильтрации в виде [1]:

$$\begin{aligned}\omega_r &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial r} = m_0 \frac{dr}{dt} = -K_\phi \frac{\partial h}{\partial r}, \\ \omega_z &= \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial z} = m_0 \frac{dz}{dt} = -K_\phi \frac{\partial h}{\partial z},\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\omega_r$ ,  $\omega_z$  – проекции скорости фильтрации на оси  $r$  и  $z$  соответственно;

$\varphi(x, y)$  – потенциальная функция;

$m_0$  – свободная порозность;

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации;

$h(r, z, t)$  – глубина залегания уровня грунтовых вод;

$\psi(x, y)$  – функция тока.

В теории функции комплексного переменного доказано, что каждые две кривые, из которых одна принадлежит к семейству кривых, определяемых уравнением  $\varphi(x, y) = C$ , а другая – семейству кривых, определяемых уравнением  $\psi(x, y) = C'$ , пересекаются под прямым углом, т. е. два семейства кривых образуют ортогональную сетку в основной плоскости течения. При этом необходимо отметить, что в основной плоскости течения линии равного давления (изобары) совпадают с эквипотенциальными линиями  $\varphi(x, y) = C$ , а кривые  $\psi(x, y) = C'$  взаимно ортогональны с эквипотенциальными линиями, т. е. кривые этого семейства можно считать линиями тока (при установившемся движении линии тока и траектории частиц жидкости совпадают).

Также допустим, что уровень грунтовых вод в начальный момент времени  $t=0$  постоянен и равен  $H_0$ .

В дальнейшем в ирригационном канале поддерживается постоянный уровень:

$$H_1 = H_0 + H,$$

где  $H_0$  – уровень грунтовых вод в начальный момент времени  $t = 0$ ;

$H$  – постоянный напор под слабопроницаемым прослоем.

Тогда принимаем, что ордината свободной поверхности  $h(x, y, t)$  выражается уравнением с безразмерными параметрами [1, 2]:

$$h(\bar{z}, \bar{r}, \tau) = \bar{H} \frac{\text{Re} \cdot \exp(-\tau) \cdot \bar{q}}{z 9,8 \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})} - \bar{H}_0 \frac{\bar{q}}{r \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})} + \frac{\text{Fr} \cdot \text{Re} \cdot \exp(-\tau) \cdot \bar{q}}{r z 9,8 \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})} - \frac{\text{Fr} \cdot \bar{q}}{r \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})}. \quad (2)$$

Потенциальная функция и функция тока представлены в виде уравнения с безразмерными параметрами [3]:

$$\frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{r}} = \rho K_{\phi} \left[ \bar{H} \frac{\bar{q}}{r^2 \bar{B} \cdot \exp(\bar{z})} - \frac{\text{Fr} \cdot \text{Re} \cdot \exp(-\tau) \cdot \bar{q}}{r z^2 9,8 \bar{B} \cdot \exp(\bar{z})} + \frac{\text{Fr} \cdot \bar{q}}{r^2 \bar{B} \cdot \exp(\bar{z})} \right], \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \bar{z}} = \rho K_{\phi} \left[ \bar{H} \frac{\text{Re} \cdot \exp(-\tau) \cdot \bar{q}}{z^2 9,8 \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})} + \frac{\text{Fr} \cdot \text{Re} \cdot \exp(-\tau) \cdot \bar{q}}{r z^2 9,8 \bar{B} \cdot \exp(\bar{H})} \right], \quad (4)$$

где  $q(z, r, t)$  – расход фильтрационного потока на 1 пог. м длины канала;

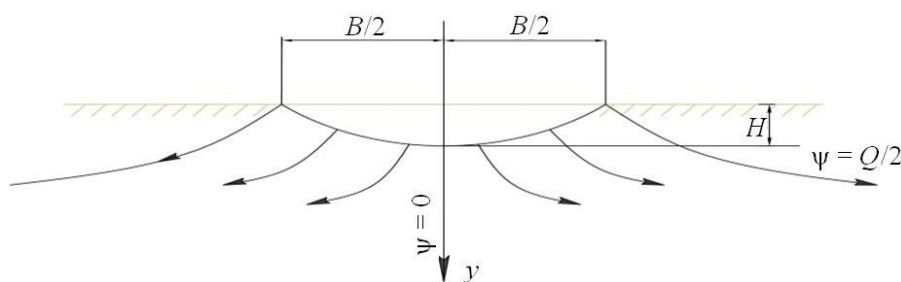
Re – число Рейнольдса;

Fr – число Фруда;

$B$  – ширина канала по урезу.

Используя выражение (2) для случаев фильтрации из каналов и принимая по ним значения  $h(x, y, t)$ , находим перемещение границ зоны образования линз пресных подземных вод.

Ввиду того, что определение динамики опресняющего действия каналов важно для районов с высоким стоянием засоленных грунтовых вод, рассмотрим случаи подпертой фильтрации. Выполним решение для одиночного канала при оттоке подземных вод за пределы орошаемых земель в условиях подпертой фильтрации и глубокого залегания водоупора, схема представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Фильтрация из одиночного канала и отток за пределы массива**

Для условий, изображенных на рисунке 2, а также с учетом выражений (1), (2) и (4) найдем зависимости для определения границ зоны опреснения вдоль ирригационных каналов:

$$\bar{r} = \sqrt[3]{-\frac{\bar{K}_{\phi}}{m_0} \left[ \frac{\text{Fr} \cdot \text{Re} \cdot \bar{q}}{H 9,8 \bar{B} \exp(\bar{H} + \tau)} + \frac{z \bar{q} \tau}{\bar{B} \exp(\bar{H})} + \frac{\text{Fr} \bar{q} \tau}{\bar{B} \exp(\bar{H})} \right]}, \quad (5)$$

$$\bar{z} = \sqrt[3]{-\frac{\bar{K}_{\phi}}{m_0} \left[ \frac{\text{Fr} \cdot \text{Re} \cdot \bar{q}}{r 9,8 \bar{B} \exp(\bar{H} + \tau)} + \frac{\bar{H} \text{Re} \bar{q}}{9,8 \bar{B} \exp(\bar{H} + \tau)} \right]}. \quad (6)$$

Интегрируя выражение (3) при граничном условии  $\bar{\varphi} = 0, \bar{z} = \bar{H}$ , получаем:

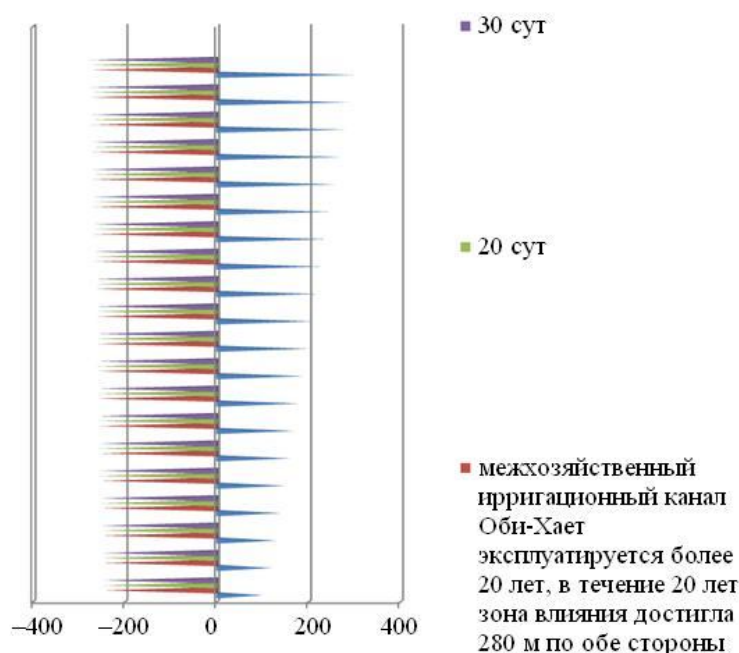
$$\frac{1}{r}(\bar{H} + Fr) + \frac{Fr \cdot Re \cdot \exp(-\tau)}{\bar{H}^2 \cdot 9,8} \ln|r| = 0. \quad (7)$$

Отсюда:

$$\tau = \ln \left| \frac{\bar{r} \cdot Fr \cdot Re \cdot \ln|r|^{-1}}{\bar{H}^2 \cdot 9,8 \cdot (\bar{H} + Fr)} \right|. \quad (8)$$

Задавая различные значения глубин перемещения фронта рассоления  $r$ , по уравнению (8) находим соответствующее время.

С учетом параметров натуральных исследований после выполнения соответствующих математических действий получено решение уравнения (5). Результаты численной реализации представлены в виде графиков (рисунок 3).



**Рисунок 3 – График численных результатов уравнения (5) (представлены горизонтальные границы зоны опреснения вдоль межхозяйственного канала Оби-хает)**

**Выводы.** В ходе исследований разработана гидравлическая зависимость для определения зоны опреснения вблизи оросительных каналов в условиях неустановившегося движения, что дает возможность использования субиригации сельскохозяйственных культур. Полученные гидравлические зависимости могут представлять большой интерес для сектора сельского и водного хозяйства и позволят решить множество практических задач в условиях водного дефицита.

#### **Список использованных источников**

1 Аверьянов, С. Ф. Рассоляющее действие фильтрации из каналов / С. Ф. Аверьянов // Влияние орошения на режим грунтовых вод: сб. науч. тр. – М.: АН СССР, 1959. – С. 44–120.

2 Махмудов, И. Э. Гидравлическая модель процесса переноса гомогенной смеси в гидроморфных средах, обусловленного изменением уровня подземных вод / И. Э. Махмудов, С. Эшев, Н. К. Мурадов // Проблемы механики. – 2013. – № 2. – С. 27–32.

3 Махмудов И. Э. Разработка и внедрение методов мобилизации линз подземных пресных вод для водопользования / И. Э. Махмудов, Н. К. Мурадов // Экологический вестник. – 2016. – № 2(178). – С. 13–16.