

УДК 502/504: 532.546 : 633.18

Д. А. МАНУКЪЯН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ НА РИСОВЫХ СИСТЕМАХ

На основе экспериментальных данных анализируется роль гидродинамических факторов (скорость вертикальной фильтрации, глубина залегания уровня грунтовых вод) в формировании урожая на рисовых системах. Получено аналитическое решение относительно величины скорости фильтрации, позволяющее на основе известных гидрогеологических параметров выбирать размеры рисовых чеков и расход скважин систематического вертикального дренажа для оптимального управления мелиоративными режимами в корнеобитаемом слое.

Гидродинамический фактор, рисовая система, урожай, вертикальная скорость фильтрации

On the basis of the experimental data there is analyzed the role of hydrodynamic factors (speed of vertical filtration, depth of the ground water occurrence) in yield formation on rice systems. The analytical decision is obtained regarding a filtration speed value which makes it possible on the basis of the known hydrogeological parameters to choose sizes of rice checks and well discharge of the systematic vertical drainage for the optimal control of reclamation regimes in the root-inhabited layer.

Hydrodynamic factor, rice system, yield, vertical speed of filtration.

Результаты многолетних исследований указывают на высокую степень зависимости урожая риса от гидродинамических факторов режима грунтовых вод на рисовых чеках в вегетационный и во вневегетационный период [1–4].

Почвообразовательные процессы на землях рисовых оросительных систем протекают в условиях длительного затопления, которое, в свою очередь, определяет гидродинамический режим грунтовых вод под рисовым чеком — прежде всего скорость вертикальной фильтрации. При малых значениях фильтрации (менее 2 мм/сут) или при ее отсутствии выноса вредных солей из корнеобитаемого слоя не происходит, поэтому восстановительные процессы из-за недостаточного поступления в почву свободного кислорода прогрессируют. С другой стороны, высокие скорости вертикальной фильтрации (более 12 мм/сут) наряду с активизацией

окислительно-восстановительных процессов обуславливают значительный вынос из почвенного слоя в грунтовые воды не только солей, но и питательных элементов, что снижает плодородие почв и в итоге негативно влияет урожайность риса [4].

Оптимальной величиной скорости фильтрации является скорость от 3 до 8 мм/сут, обеспечивающая благоприятный уровень окислительно-восстановительных процессов, водно-солевой, пищевой и газовый режимы почв на рисовых чеках под слоем воды. При этом урожай риса на таких участках не опускается ниже 60 ц/га (рис. 1).

Следует отметить, что ни один из приемов орошения риса, связанный с созданием проточности или периодических сбросов, не заменяет фактора вертикальной фильтрации, роль которой в окислительно-восстановительных процессах корнеобитаемого слоя на порядок выше поверхностных сбросов.

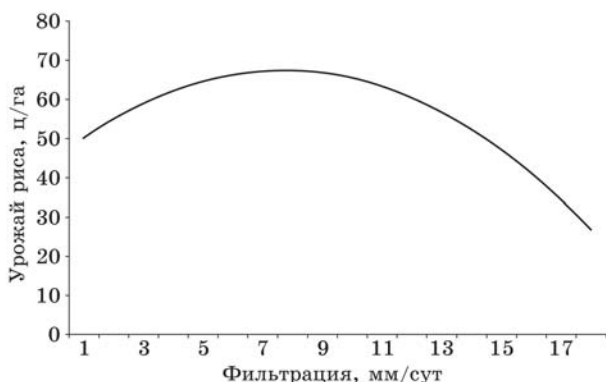


Рис. 1. Зависимость урожая риса от скорости фильтрации [4]

Во вневегетационный период оптимальная глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ) по результатам наблюдений на Кзылкумском массиве составляет от 1,5 до 3,0 м [2–4]. Такая глубина залегая уровня грунтовых вод обеспечивает свободный доступ воздуха в зону аэрации, благоприятное развитие окислительных и микробиологических процессов в аэробных условиях. При этом интенсивность последних существенным образом зависит от скорости снижения уровня грунтовых вод и осушения рисовых чеков.

Как уже отмечалось, мощность аэрируемого слоя имеет большое значение для ликвидации последствий болотного процесса, повышения плодородия почв, для хорошей урожайности риса (рис. 2).

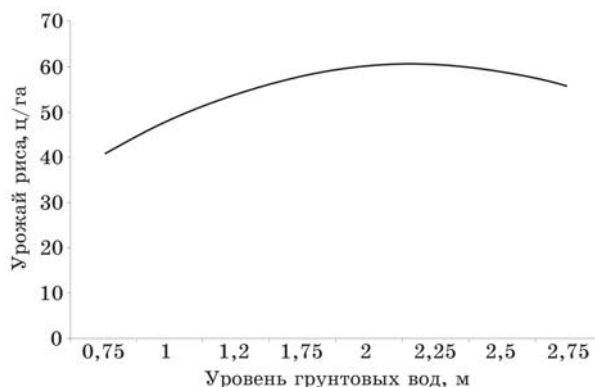


Рис. 2. Зависимость урожая риса от уровня грунтовых вод во вневегетационный период [5]

Одним из эффективных средств управления режимом грунтовых вод на рисовых системах являются скважи-

ны вертикального дренажа, позволяющие в вегетационный и во вневегетационный периоды создавать необходимый гидродинамический режим на рисовых чеках и регулировать направленность и интенсивность почвообразовательных процессов. Это достаточно просто достигается включением (или выключением) скважин вертикального дренажа, регулированием водоподачи оросительной воды и дебита дренажной скважины.

Достаточно распространенным фильтрационным строением верхней толщи для районов строительства рисовых систем является двухслойное строение, когда верхняя часть разреза представлена слабо-проницаемыми покровными отложениями, а нижняя часть — водоносными породами достаточно высокой (более 100 м²/сут) проводимости, содержащими напорные или субнапорные воды. Динамика уровня грунтовых вод в данных геофильтрационных условиях при работе скважин вертикального дренажа с заданным расходом описывается следующей системой дифференциальных уравнений [2]:

$$\frac{K_1}{m_1}(h - H) - \varepsilon = 0; \quad (1)$$

$$T\left(\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{dH}{dr}\right) + \frac{K_1}{m_1}(h - H) = \frac{dH}{dt} \mu, \quad (2)$$

где h и H — уровень грунтовых и напорных (или субнапорных) вод соответственно, м; m_1 и K_1 — мощность и коэффициент фильтрации покровных отложений, м; T и m — проводимость и водоотдача нижнего водоносного горизонта, м²/сут; ε — вертикальная скорость фильтрации на поверхности покровного слоя, м/сут; r — радиальная координата, м.

Система уравнений решается при следующих начальных и граничных условиях:

$$Q = \lim_{r \rightarrow r_c} -2\pi Tr \frac{dH}{dr};$$

$$dH/dr = 0 \text{ (при } r = R);$$

$$h = m_1 + m_0 = \text{const};$$

$$H_r = h \text{ (при } t = 0),$$

где Q — дебит дренажной скважины, м³/сут; m_0 — слой воды на поверхности, м; R — половина расстояния между скважинами систематического вертикального дренажа, м; r_c — радиус скважины, м.

Для расчета понижения уровня в нижнем пласте, $S = h - H(r)$, при решении системы уравнений (1) и (2) можно использовать интегральное преобразование Лапласа для стационарного случая:

$$S = m_1 + m_0 - H(r) = \frac{Q}{2\pi T} \left[K_0\left(\frac{r}{B}\right) + \frac{K_1\left(\frac{R}{B}\right)}{I_1\left(\frac{R}{B}\right)} \cdot I_0\left(\frac{r}{B}\right) \right], \quad (3)$$

где $B = \sqrt{\frac{Tm_1}{K_1}}$; (4)

$I_0(r/B)$, $K_0(r/B)$ — модифицированные функции Бесселя первого и второго рода нулевого порядка соответственно; $I_1(r/B)$, $K_1(r/B)$ — то же первого порядка.

Обозначив выражение в квадратных скобках в (3) через $F(r/B)$ получим:

$$S = h - H = m_1 + m_0 - H(r) = \frac{Q}{2\pi T} F\left(\frac{r}{B}\right).$$

Тогда скорость вертикальной фильтрации в покровном слое может быть определена из выражения (1):

$$\varepsilon(r) = \frac{K_1}{m_1} [h - H(r)] = \frac{K_1}{m_1} \cdot \frac{Q}{2\pi T} F\left(\frac{r}{B}\right). \quad (5)$$

С учетом (4) выражение (5) упрощается:

$$\varepsilon(r) = \frac{Q}{2\pi B^2} F\left(\frac{r}{B}\right). \quad (6)$$

Как следует из (6), величина скорости вертикальной фильтрации $\varepsilon(r)$ существенным образом зависит от параметров перетекания B , т. е. от мощности, фильтрационных свойств покровного слоя и проницаемости нижнего слоя. На основе известных гидрогеологических параметров среды полученное решение (6) позволяет выбирать размеры рисовых чеков (карт) и расход скважины вертикального дренажа для создания оптимальных условий управления вертикальной фильтрацией в покровном слое и благоприятного водно-солевого режима в корнеобитаемом слое.

Рассмотрим пример расчета $\varepsilon(r)$ при следующих исходных параметрах:

$K_1 = 0,1$ м/сут; $m_1 = 10$ м; $T = 100$ м²/сут; дебит скважины вертикального дренажа $Q = 50$ л/с; размер контура при шаге между скважинами систематического вертикального дренажа — 1000 м ($R_k = 500$ м); распределение скоростей в пределах рассматриваемой площади при радиусах скважин 100, 200, 300, 400 м следующее: 34, 12, 7 и 4 мм соответственно. Для расчета бесселевых функций используем таблицы из [6].

Опытные исследования были проведены в совхозе Кзылкумский, расположенном на второй террасе реки Сырдарьи, характеризующейся двухслойным строением с коэффициентом фильтрации покровной суглинисто-глинистой толщи 0,1...0,4 м/сут и аллювиальных песков — от 3 до 15 м/сут. Для орошения применяется вертикальный дренаж с повторным использованием откачиваемой воды. До начала освоения Кзылкумского массива уровень грунтовых вод залегал на глубине 6...10 м и более, в настоящее время уровни грунтовых вод в межвегетационный период составляют 1,5...3,0 м.

Для определения одного из наиболее существенных показателей, определяющего урожай риса, средней скорости вертикальной фильтрации и оценки распределения ее по рисовой карте на различных расстояниях от скважины вертикального дренажа устанавливали спаренные пьезометры забивной конструкции. Скорость вертикальной фильтрации ε определяли по формуле

$$\varepsilon = K_1 \frac{\Delta h}{\Delta l},$$

где K_1 — вертикальный коэффициент фильтрации покровных отложений, м/сут; Δh — разность уровней в соседних пьезометрах, м; Δl — расстояние между концами двух спаренных пьезометров, м.

Результаты расчета скоростей фильтрации по опытными данным и по формуле (6) указывают на достаточно точное совпадение кривых (порядка 7...10 %). Комплексный показатель,

определяющий водно-солевой, тепловой и питательный режимы рисового поля, а именно скорость вертикальной фильтрации, для оценки мелиоративного состояния рисовых систем рекомендуется измерять в точках с координатами, определенными по графику функции, которую можно вычислить по формуле (6). При этом кусты спаренных пьезометров следует размещать в точках, отвечающих средней скорости вертикальной фильтрации.

Список литературы

1. **Абрамович, Н. В.** К вопросу об эксплуатационных режимных наблюдениях на рисовых полях [Текст] / Н. В. Абрамович // Тезисы докладов V Всесоюзного совещания по мелиоративной гидрогеологии, инженерной геологии и мелиоративному почвоведению. — Вып. 2. — М., 1984. — С. 7—11.
2. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев [и др.]. — М.: Колос, 1970. — 440 с.
3. **Рау, А. Г.** Влияние орошения дренажно-сбросными водами на продуктивность риса [Текст] / А. Г. Рау, Н. П. Токарева // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. — 1976. — № 1. — С. 55—60.
4. Рисовая оросительная система [Текст] : каталог / Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, КазНИИИВХ. — Джамбул, 1982. — 11 с.
5. **Мальцев, А. А.** К вопросу о глубине залегания уровня грунтовых вод на рисовых оросительных системах [Текст] / А. А. Мальцев // Тезисы докладов Третьего межведомственного совещания по вопросам прогнозирования гидрогеологических инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных условий. — Вып. 5. — М., 1976. — С. 109—111.
6. **Янке, Е.** Специальные функции [Текст] / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш. — М.: Наука, 1977. — 342 с.

Материал поступил в редакцию 27.03.08.

Манукьян Давид Ашикович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии и гидрогеологии

Тел. 8 (495) 976-22-27