

ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Цель упражнения – освоить методику прогнозных расчетов возможности загрязнения подземных вод при орошении с использованием животноводческих стоков.

Основные задачи.

1. Рассчитать время достижения уровня грунтовых вод сточными водами на участке орошения.
2. Определить концентрацию загрязняющих веществ под массивом орошения на j -й год после начала орошения.
3. Выполнить прогноз распространения загрязнения по водоносному горизонту и возможности его подтягивания к подземным водозаборам.

Исходные данные.

- 1) q – удельный расход подаваемых на орошение стоков ($q = 0,0015 \dots 0,010$ м/сут).
- 2) H – глубина УГВ или мощность зоны аэрации ($H = 5 \dots 30$ м).
- 3) K , A – коэффициент фильтрации и пористость грунтов зоны аэрации ($K = 0,05 \dots 1,0$ м/сут); ($A = 0,35 \dots 0,50$).
- 4) m – мощность водоносного горизонта ($m = 10 \dots 20$ м).
- 5) L и S – длина (в направлении естественного потока грунтовых вод) и ширина массива орошения, м.
- 6) P_{\min} , μ – минимальная норма годовых осадков и их коэффициент использования ($P_{\min} = 0,5$ м; $\mu = 0,85$).
- 7) Оросительная норма ($M = 800 \text{--} 1200$ м³/га.).
- 8) C_o , C_ϕ – концентрации загрязняющих веществ (фоновая и в сточных водах) ($C_o = 0$; $C_\phi = 0,2 \dots 0,5$ г/л).
- 9) T_m – продолжительность межполивного периода (220...250 сут).
- 10) i – уклон естественного потока грунтовых вод ($i = 0,2 \dots 0,5$).
- 11) Q – дебит водозаборной скважины ($Q = 240 \dots 480$ м³/сут).

Цифровые исходные данные по вариантам расчетов приведены в табл. 6.1.

Теоретическая часть.

Прогнозные расчеты могут проводиться с целью оценки:

- загрязнения воды рек и озер поверхностным и дренажным стоком мелиоративных систем;
- понижения уровня грунтовых вод на прилегающих к осушительным системам территориях;
- возможности и степени (концентрации) загрязнения подземных вод коммунальными и животноводческими стоками;
- подтопления прилегающих территорий и величины фильтрационных потерь воды из проектируемых прудов и водохранилищ.

Т а б л и ц а 8.1. Исходные данные для прогноза возможного загрязнения подземных вод при орошении животноводческими стоками

Вари-ант	q, м/сут	K, м/сут	H, м	A	m, м	L × S, м	C _ф , г/л	i	Q, м ³ /сут
1	0,0015	0,050	6	0,35	20	300×600	0,50	0,20	240
2	0,0018	0,060	8	0,36	19	350×600	0,47	0,18	260
3	0,0021	0,070	10	0,37	18	350×620	0,43	0,17	280
4	0,0025	0,080	12	0,38	18	400×600	0,40	0,15	300
5	0,0030	0,100	15	0,40	17	430×600	0,38	0,13	320
6	0,0042	0,120	18	0,41	16	470×590	0,35	0,11	340
7	0,0050	0,150	20	0,42	15	500×600	0,32	0,10	360
8	0,0060	0,280	22	0,43	14	510×580	0,30	0,10	380
9	0,0070	0,440	24	0,44	13	520×570	0,29	0,09	400
10	0,0080	0,650	25	0,46	12	550×600	0,28	0,08	420
11	0,0090	0,810	26	0,47	11	560×580	0,25	0,07	440
12	0,0095	0,940	28	0,49	11	580×570	0,22	0,06	460
13	0,0100	0,010	30	0,50	10	600×600	0,20	0,05	480
14	0,0019	0,065	9	0,37	19	350×610	0,45	0,18	270
15	0,0036	0,112	15	0,40	16	460×570	0,37	0,12	330
16	0,0092	0,910	27	0,48	10	570×590	0,23	0,07	450
17	0,0019	0,065	9	0,36	14	510×580	0,30	0,10	385
18	0,0022	0,075	11	0,37	13	520×570	0,29	0,09	405
19	0,0027	0,085	13	0,38	12	550×600	0,28	0,08	425
20	0,0032	0,105	16	0,40	11	560×580	0,25	0,07	445
21	0,0045	0,125	19	0,41	11	580×570	0,22	0,06	465
22	0,0056	0,155	21	0,42	10	600×600	0,20	0,05	485
23	0,0063	0,285	23	0,43	19	350×610	0,45	0,18	275
24	0,0074	0,445	27	0,44	16	460×580	0,36	0,12	335
25	0,0082	0,655	29	0,46	10	570×590	0,23	0,07	455
10	0,0085	0,655	24	0,47	12	560×590	0,27	0,08	430
12	0,0094	0,935	28	0,48	11	570×590	0,22	0,06	440
14	0,0020	0,064	9	0,39	19	360×600	0,43	0,17	280
16	0,0088	0,905	29	0,46	12	560×590	0,23	0,09	435
18	0,0028	0,078	11	0,38	13	530×570	0,28	0,10	410
При-мер	0,0035	0,110	16	0,45	15	460×580	0,36	0,12	330

Прогнозные расчеты суммарного выноса и концентраций биогенных веществ и ядохимикатов в поверхностном и дренажном стоке выполняются для проектируемого водного объекта и примыкающей территории в пределах площади водосбора его устьевом створа. Расчетными периодами являются спад весеннего половодья, летне-осенние паводки и летняя межень. Концентрация загрязняющего компонента в стоке реки или магистрального канала не должна превышать значений, приведенных в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Предельно допустимая концентрация (ПДК) наиболее часто встречающихся вредных веществ в поверхностных водах, мг/л

Наименование	Водопользование
--------------	-----------------

веществ и показателей	Хозяйственно- питьевое и культурно- бытовое	Рыборазведе ние
Аммоний NH ₄ (по азоту)	1,0	0,39
Аммиак NH ₃ OH (по азоту)	2,0	0,05
Нитриты NO ₂ (по азоту)	0,002	0,02
Нитраты NO ₃ (по азоту)	10,0	9,0
Нефтепродукты	0,3	0,05
Фенолы	0,001	0,001
Железо общее	0,5	0,1

Порядок выполнения.

Прогноз качества подземных вод включает две основные оценки: а) времени достижения стоками уровня грунтовых вод; б) концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах под орошаемым массивом.

Время (Т, сут) достижения стоками уровня грунтовых вод под орошаемым массивом оценивается по формуле

$$T = \frac{AH}{\sqrt[3]{q^2K}}, \quad (6.1)$$

где Н – мощность зоны аэрации (глубина залегания уровня грунтовых вод), м;

А – пористость грунтов зоны аэрации в долях единицы;

К – коэффициент фильтрации грунтов зоны аэрации;

q – удельный расход подаваемых на орошение стоков, м³/сут; q = Q_c/F;

Q_c – общий расход подаваемых стоков, м³/сут;;

F – орошаемая площадь, м².

Данная формула применяется при K ≥ q, т.е. при орошении дождеванием, когда происходит свободная фильтрация стоков без образования слоя жидкости на поверхности поля. Если зона аэрации имеет неоднородный, например, двухслойный характер, то время Т рассчитывается для каждого слоя в отдельности и складывается.

Сравнивая полученное время Т с временем выживаемости бактерий (около 300 сут), оценивают возможность попадания микроорганизмов в грунтовые воды и возникновения их бактериального загрязнения.

Прогнозный расчет концентрации загрязняющих веществ (нитратов) в грунтовых водах проводится с учетом их начального объема под массивом орошения (W_c, м³), объема профильтровавшихся сточных вод (W_ф, м³) и

объема профильтровавшихся осадков ($W_p, \text{м}^3$). Концентрация загрязняющих веществ (ЗВ) в грунтовых водах к концу первого года орошения ($C_1, \text{г/л}$) определяется по формуле

$$C_1 = \frac{W_0 C_0 + W_\phi C_\phi + W_p C_p}{W_0 + W_\phi + W_p}, \quad (6.2)$$

где C_0 – начальная (фоновая) концентрация ЗВ в грунтовых водах, г/л;

C_ϕ, C_p – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах и атмосферных осадках, г/л.

В практических расчетах величины C_ϕ и C_p обычно принимаются равными нулю.

При прямоугольной форме орошаемого массива (рис.6.1), имея его ширину ($S, \text{м}$), длину ($L, \text{м}$) и мощность водоносного горизонта ($m, \text{м}$), начальный объем ($W_0, \text{м}^3$) определяется как

$$W_0 = L S m A. \quad (6.3)$$

Величина W_ϕ принимается в пределах 10–30 % от годового объема поданных на орошение стоков W_c , который в свою очередь определяется умножением проектной оросительной нормы ($M, \text{м}^3/\text{га}$) на площадь орошения ($F, \text{га}$). Величину оросительной нормы можно принять в пределах 800–1200 $\text{м}^3/\text{га}$.

Объем профильтровавшихся осадков рассчитывается по формуле

$$W_p = S L P_{\min} (1 - \mu), \quad (6.4)$$

где P_{\min} – минимальная норма годовых осадков, м;

$(1 - \mu)$ – коэффициент просачивания осадков.

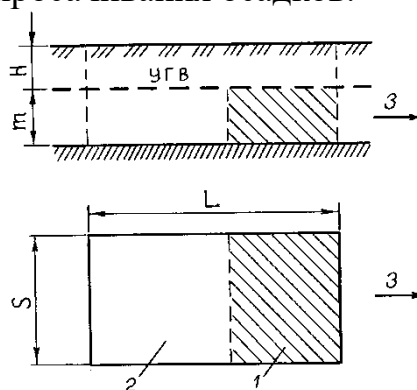


Рис. 6.1. Схема к расчету концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах: 1 – зона грунтовых вод, загрязненных в предыдущий поливной период;

2 – зона чистых грунтовых вод; 3 – направление потока грунтовых вод

Ввиду наличия естественного потока грунтовых вод в течение межполивного периода происходит отжатие загрязненных с концентрацией C_1 вод вниз по потоку чистыми (фоновыми) грунтовыми водами. В следующие поливные периоды (годы) фильтрующиеся стоки опять смешиваются с грунтовыми водами, которые теперь состоят из двух частей:

образовавшихся в предыдущий поливной период загрязненных вод (ΔW_{j-1} , м³) и чистых грунтовых вод (ΔW_o , м³). Прогнозная оценка концентрации ЗВ в грунтовых водах к концу j-го года орошения выполняется с использованием зависимости

$$C_j = \frac{\Delta W_o C_o + \Delta W_{j-1} C_{j-1} + W_\phi C_\phi}{\Delta W_o + \Delta W_{j-1} + W_\phi + W_p} \quad (6.5)$$

где C_{j-1} – концентрация загрязняющих веществ в грунтовых водах к концу года, предшествующего расчетному, г/л.

Объемы ΔW_o и ΔW_{j-1} – определяются с учетом скорости потока грунтовых вод:

$$\Delta W_o = S V T_M m A; \quad (6.6)$$

$$\Delta W_{j-1} = S(L - VT_M) m A, \quad (6.7)$$

где $V = Ki/A$ – скорость потока грунтовых вод, м/сут;

K – коэффициент фильтрации водоносного слоя, м/сут;

i – уклон (градиент) потока грунтовых вод;

T_M – продолжительность межполивного интервала (октябрь – апрель), сут.

Расстояние, проходимое загрязненными водами в течение каждого года вниз по потоку, определяется умножением скорости потока (V , м/сут) на число суток в году.

При наличии водозаборных скважин (рис.6.2), расположенных вблизи орошаемого массива выше по потоку (скважина А) и сбоку (скважина В), выполняется прогноз подтягивания к ним загрязненных вод.

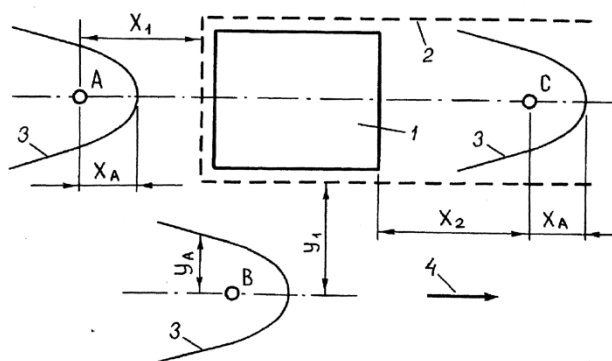


Рис. 6.2. Схема к прогнозу подтягивания загрязненных вод к скважинам:
1 – орошаемый массив; 2 – санитарный контур (граница области растекания);
3 – границы области питания скважин; 4 – направление потока грунтовых вод.

Подтягивание произойдет, если радиусы областей питания этих скважин превысят расстояние до санитарного контура, т.е. при выполнении условий $X_A > X_1$ и $Y_A > Y_1$. Величины X_A и Y_A (м) рассчитываются по формулам

$$X_A = \frac{Q}{2\pi m Ki}; \quad Y_A = \frac{Q}{2m Ki}, \quad (6.8)$$

где Q – дебит водозаборной скважины, м³/сут.

Остальные обозначения прежние.

В тех случаях, когда область питания скважины захватывает загрязненные воды, или когда скважина находится внутри области растекания загрязненных вод (скважина С), выполняется оценка времени подтягивания этих вод ($T_{п}$, сут) к эксплуатационной скважине.

Для скважин А и В:

$$T_{п} = \frac{\pi m A l}{Q}, \quad (6.9)$$

где l – расстояние от скважины до санитарного контура, равное X_1 или Y_1 , м.

Для скважины С:

$$T_{п} = \frac{A}{V} \left[X_2 - X_A \ln \left(\frac{X_2}{X_A} + 1 \right) \right]. \quad (6.10)$$

Проведенные прогнозные расчеты позволяют установить необходимость и сроки переноса водозаборных скважин на новое место и осуществлять проектирование других водоохраных мероприятий.

Пример выполнения упражнения.

Для примера расчетов используем данные нижней строки табл.6.1.

Время достижения стоками уровня грунтовых вод

$$T = \frac{0,45 \cdot 16}{\sqrt[3]{0,0035^2 \cdot 0,110}} = 659 \text{ сут.}$$

Поскольку величина T оказалась больше времени выживаемости бактерий (около 300 сут), возможность попадания микроорганизмов в грунтовые воды в нашем случае отсутствует.

Для расчета концентрации загрязняющих веществ предварительно определим следующие параметры

$$\text{Площадь орошения } F = 460 \cdot 580 = 266800 \text{ м}^2 = 26,68 \text{ га.}$$

$$\text{Объем подаваемых стоков } W_c = M \cdot F = 1000 \cdot 26,68 = 26680 \text{ м}^3.$$

Объем профильтровавшихся стоков (принимаем 20% от W_c).

Тогда

$$W_{ф} = 26680 \cdot 0,20 = 5336 \text{ м}^3.$$

$$\text{Начальный объем } W_0 = 460 \cdot 580 \cdot 15 \cdot 0,45 = 1800900 \text{ м}^3.$$

Объем профильтровавшихся осадков

$$W_p = 460 \cdot 580 \cdot 0,4 (1 - 0,85) = 16008 \text{ м}^3.$$

Концентрация загрязняющих веществ (нитратов) в грунтовых водах к концу первого года орошения составит:

$$C_1 = \frac{1800900 \cdot 0 + 5336 \cdot 0,36 + 16008 \cdot 0}{1800900 + 5336 + 16008} = 0,00105 \text{ г/л.}$$

Для расчета концентрации загрязняющих веществ к концу второго года орошения определим величины:

$$V = 0,110 \cdot 0,12 : 0,45 = 0,029 \text{ м/сут};$$

$$\Delta W_0 = 580 \cdot 0,029 \cdot 230 \cdot 15 \cdot 0,45 = 26113 \text{ м}^3;$$

$$\Delta W_1 = 580 (460 - 0,029 \cdot 230) \cdot 15 \cdot 0,45 = 1774787 \text{ м}^3;$$

$$C_2 = \frac{26113 \cdot 0 + 1774787 \cdot 0,00105 + 5336 \cdot 0,36}{26113 + 1774787 + 5336 + 16008} = 0,00208 \text{ г/л}.$$

Определение концентрации загрязняющих веществ к концу третьего года выполняется аналогично предыдущему расчету по формулам 6.5–6.7, где вместо ΔW_1 и C_1 используются значения ΔW_2 и C_2 .

Полученные в итоге значения C_1 , C_2 и C_3 нужно представить в виде графика изменения концентрации загрязняющих веществ по расчетным годам.

Контрольные вопросы

1. Какова цель прогнозных расчетов возможности загрязнения подземных вод при орошении животноводческими стоками?
2. Какое время достижения стоками уровня грунтовых вод считается безопасным ?
3. От чего зависит прогнозная оценка концентрации загрязнения грунтовых вод ?
4. Как изменяется концентрации загрязняющих веществ с увеличением срока эксплуатации объекта ?

