

ОЦЕНКА ДОПУСТИМЫХ ГЛУБИН ЗАЛЕГАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ**Г.Ю.МАЙЫЛОВ***Научно-Производственное Объединение Азербайджанского
Научно-Исследовательского Института Гидротехники и Мелиорации
aet_hmi@baku.hac.az*

В статье на примере Гарабахской региональной водно-балансовой станции НПО АЗНИИГ и Ма изложены оценки допустимых глубин залегания уровня грунтовых вод в условиях орошения под посевами хлопчатника и люцерны с экспериментальными (лизи-метрическими методами) и теоретическими (методами, основанными на теории влаго-солепереноса) исследованиями.

Уровень грунтовых вод (УГВ) при неглубоком их залегании весной должен обеспечивать нормальные условия для сева, а в вегетационный период (с учетом минерализации) - благоприятный водно-солевой режим почв. Учитывая это положение целесообразно дифференцировать глубину залегания УГВ для орошаемых земель республики. В пределах республики глубина залегания УГВ уменьшается от предгорной зоны к низменности. Такая закономерность в распределении глубины залегания местами нарушается в приканальных зонах, в приречных полосах внутрестепных рек и, главным образом, на орошаемых - искусственно дренированных землях. На орошаемой территории республики грунтовые воды залегают на глубине от 0 до 10 м и более. Около 60% земель (из мелиоративного фонда республики - 3200 тыс. га) имеют глубину залегания УГВ менее 3,0 м. На этих землях - в условиях без дренажа и неинтенсивной работы дренажа, происходит интенсивное вторичное засоление, а в условиях орошения на фоне интенсивного дренажа - рассоление почвогрунтов зоны аэрации. Здесь, чтобы создать благоприятный водно-солевой режим почвогрунтов зоны аэрации необходимо учесть допустимую глубину залегания УГВ.

Значение допустимых глубин залегания УГВ с учетом механического состава, типа и степени засоления почвогрунтов зоны аэрации, а также минерализации грунтовых вод для различных природных зон республики приведены в работе /1/, и с некоторыми уточнениями освещены в работах /2, 10/. Однако, проведенные автором экспериментальные и теоретические исследования показывают, что данная величина для орошаемых земель Гарабахской степи Кура-Аразской низменности (КАН) еще раз требует уточнения.

Проведенные экспериментальные (лизи-метрическим методом) и теоретические (методом теории влагосолепереноса) исследования показали, что на территории орошаемых земель Гарабахской степи КАН прекращение испарения

грунтовых вод в пределах исследуемых глубин залегания УГВ (0,5-3,0 м) не установлено, т.е. нижний предел глубин залегания уровня грунтовых вод, при котором существенно сохраняется их испарение, превышал 3,0 м /4, 5, 9/. Испарение грунтовых вод при различном растительном покрове и при всех исследованных глубинах залегания УГВ превышает инфильтрацию, так как УГВ менее 3,0 м и даже при дифференцированном режиме орошения сельхозкультур (на примере хлопчатника и люцерны) не может являться допустимой глубиной для территории орошаемых содово-засоленных земель Гарабахской степи КАН.

Для обоснования допустимых глубин залегания УГВ, на основе экспериментальных лизиметрических данных, построен совмещенный график зависимости суммарной водоподачи и суммарного испарения от глубины залегания УГВ. Графики построены для хлопчатника и люцерны с учетом дифференцированных и недифференцированных режимов орошения (рис. 1, 2). Как видно из графиков, точки пересечения двух линий (линии суммарной водоподачи и линии суммарного испарения) соответствуют допустимым глубинам залегания УГВ. Выше этих глубин суммарное испарение превышает суммарную водоподачу и в связи с этим происходит засоление почвогрунтов зоны аэрации и ухудшается эколого-гидрогеологическое состояние орошаемых земель /8/. Построенные графики показывают, что допустимая глубина залегания УГВ в условиях Гарабахской степи КАН составляет более 3,0 метров, а именно: 3,25-3,35 м - для люцерны; 3,0-3,10 м - для хлопчатника.

Обоснование допустимой глубины залегания УГВ многие исследователи рекомендуют проводить на основе прогноза водно-солевого режима почвогрунтов зоны аэрации методами основанными на теории влагопереноса /7, 8/. Для этого могут быть использованы различные модели и схемы расчета: балансовые, линейные уравнения солепереноса, нелинейные уравнения совместного движения влаги и солей в ненасыщенной и насыщенной зонах почвогрунтов. Последняя модель является, по - видимому, наиболее перспективной в настоящее время и все чаще используется для расчетов. Система уравнений, описывающая перенос влаги и солей в насыщенной и ненасыщенной зонах почвогрунтов, в одномерном случае имеет вид /5, 7/:

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \right] - e; \quad (1)$$

$$V = -K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial C}{\partial x} \right] - \frac{\partial(VC)}{\partial x}, \quad (3)$$

где H - обобщенный (гидравлический) потенциал почвенной влаги (напор), м; $H = P - x$, $P = P(\theta)$ - капиллярно-сорбционный потенциал (всасывающее давление), м; где $P < 0$ - в зоне неполного насыщения и $P \geq 0$ - в зоне полного насыщения почвогрунтов влагой; x - вертикальная координата (положительно ориентированная вниз), м; $\mu(P) = \frac{\partial \theta}{\partial P}$ - коэффициент свободной емкости, м⁻¹;

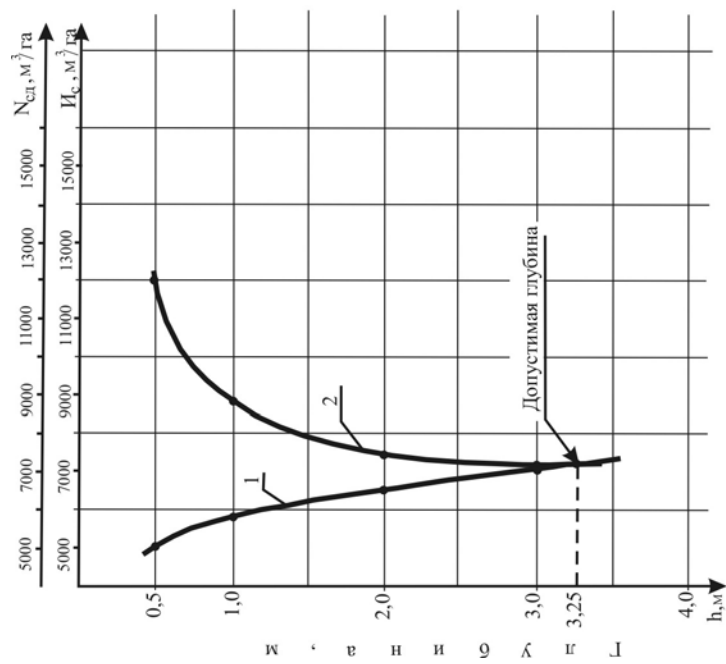
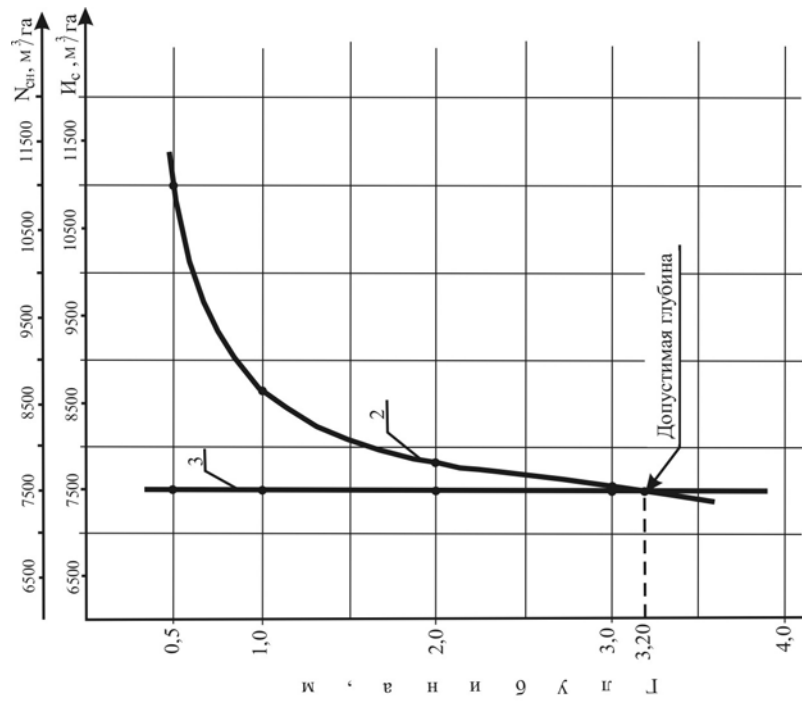


Рис. 1. Совмещенный график зависимости суммарной водопадачи и испарения от глубины залегания уровня грунтовых вод в лизиметрах под посевами хлопчатника. Почвогрунты - суглинистые. Составил Г.Ю.Майылов, 2004
 1- суммарная дифференцированная водопадача (Nсд) за год; 2- суммарное испарение (Ис) за год; 3- суммарная недифференцированная

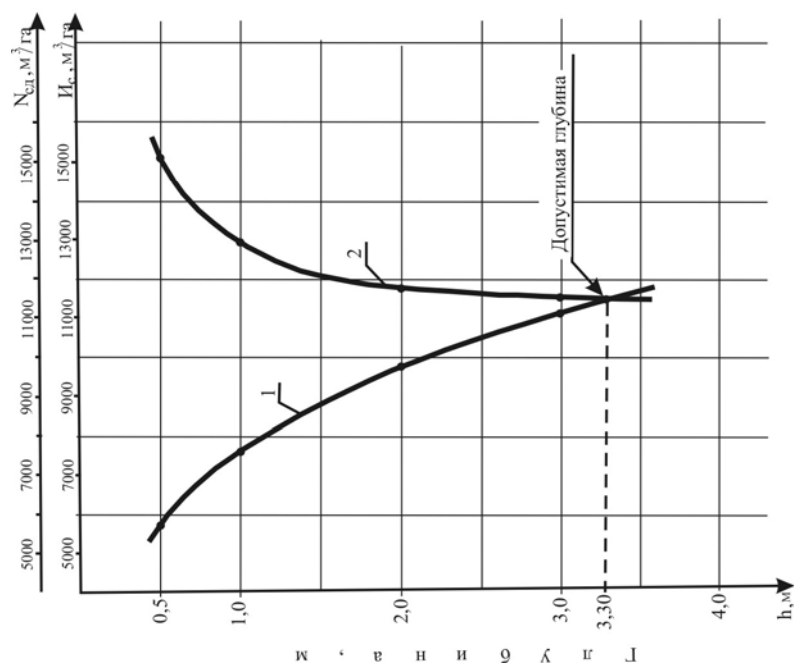
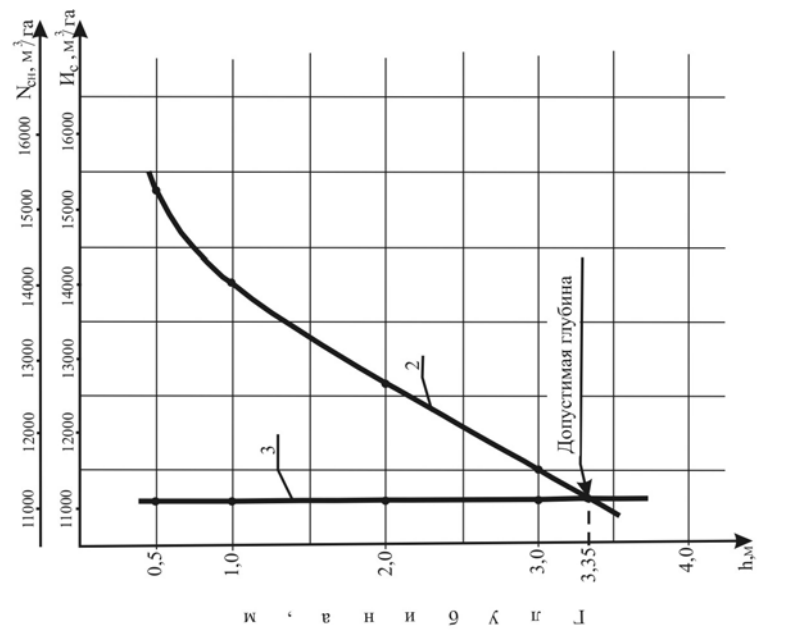


Рис. 2. Совмещенный график зависимости суммарной водоподачи и испарения от глубины залегания уровня грунтовых вод в лизиметрах под посевами люцерны. Почвогрунты - суглинистые. Составил Г.Ю.Майылов, 2004
 1 - суммарная дифференцированная водоподача ($N_{сд}$) за год; 2 - суммарное испарение ($I_{с}$) за год; 3 - суммарная недифференцированная водоподача ($N_{сн}$) за год.

$K(\theta)$ - коэффициент влагопроводности почвогрунтов, м/сут; θ - объемная влажность, м³/м³ (доли единицы); V - скорость влагопереноса, м/сут; e - удельный отбор влаги корнями растений, или интенсивность транспирации влаги растениями, сут⁻¹; t - время, сут; C - минерализация порового раствора, г/л; D - коэффициент конвективной диффузии солей, м²/сут.

Для существования единственного решения системы (1)-(3) при решении конкретных эколого-гидрогеологических задач возникает необходимость в задании начальных и краевых условий для искомых функций.

При решении системы уравнений, описывающих совместное движение влаги и солей в начальный момент времени, задавался исходный УГВ и распределение солей по глубине почвогрунтов зоны аэрации /7/.

$$\theta(x)/_{t=0} = \theta_0(x); \quad (4)$$

$$C(x)/_{t=0} = C_0(x), \quad (5)$$

где $\theta_0(x), C_0(x)$ - исходное распределение влажности и солей по глубине. Расчет влагосолепереноса проводился по сумме токсичных солей. Поскольку используются одномерное уравнение влагосолепереноса, то наиболее правомочно их использование для точки, расположенной на середине междреннего расстояния, где поток воды имеет только вертикальное направление. В отношении передвижения солей эта точка является наиболее опасной для засоления, поэтому проводимые расчеты обладают некоторым запасом «прочности». Вычисление проводилось на глубине до 4-х метров.

На верхней границе для уравнения влагопереноса задано краевое условие второго рода, которое записывается в общем виде /7/:

$$x = 0, \beta_{H1} \cdot K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} = (1 - \beta_{H1}) H - \hat{H}_1, \quad (6)$$

где \hat{H}_1 - обобщенный потенциал почвенной влаги на верхней границе в краевых условиях второго рода. При этом β_{H1} принимает значение 1, тогда уравнение (6) записывается в виде:

$$K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} /_{x=0} = -\hat{H}_1. \quad (7)$$

В этом случае, при $\hat{H}_1 < 0$ задавалась интенсивность испарения с поверхности почвы, а $\hat{H}_1 > 0$ - интенсивность инфильтрации атмосферных осадков и оросительных вод.

На нижней границе задавалось краевое условие, моделирующее отток при работе дренажа в зависимости от его параметров и напора над дренажем. Для нижней границы модели влагопереноса краевые условия третьего рода записываются в общем виде /7/:

$$x = L, -\beta_{H2} \cdot K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} = (1 - \beta_{H2}) H - \hat{H}_2, \quad (8)$$

где \hat{H}_2 - обобщенный потенциал почвенной влаги на верхней границе модели в краевых условиях третьего рода. В этом случае β_{H2} принимает значение 1, тогда уравнение (8) записывается в виде:

$$K(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=L} = \hat{H}_2, \quad (9)$$

где $\hat{H}_2 < 0$ задает отток (дренаж) на нижней границе, а $\hat{H}_2 > 0$ - приток, м/сут.

Схематизация краевых условий для уравнения солепереноса в случае ненасыщенной среды в принципе ничем не отличается от случая полного насыщения. Поэтому, условия первого, второго и третьего родов комбинируются и записываются в общем виде /7/:

$$x = 0, \beta_{C1} \cdot D \frac{\partial C}{\partial x} = \beta_{C1} \cdot V(C - C_n) + (1 - \beta_{C1})(C - C_n); \quad (10)$$

$$x = L, -\beta_{C2} \cdot D \frac{\partial C}{\partial x} = (1 - \beta_{C2})(C - C_2), \quad (11)$$

где C_n - минерализация поливной воды, г/л; C_2 - минерализация грунтовых вод, г/л.

На верхней границе модели солепереноса использовались условия третьего рода ($\beta_{C1} = 1$) - условия Бреннера, а на нижней границе - второго рода ($\beta_{C2} = 1, C_2 = 0$). При этом уравнения (10) и (11) записываются в виде:

$$D \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = V(C - C_n); \quad (12)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0. \quad (13)$$

Для выполнения расчетов по режиму влажности необходимо знать следующие параметры влагопереноса: зависимость всасывающего давления влаги от влажности $P = f_1(\theta)$, зависимость коэффициента влагопроводности от влажности $K = f_2(\theta)$ и зависимость интенсивности транспирации влаги растением от влажности $e = f_3(\theta)$. Основные гидрофизические параметры (P, K) почвогрунтов зоны аэрации определены автором капилляриметрическим методом /3, 5/.

Полученные экспериментальным путём зависимости $P(\theta)$ и $K(\theta)$ часто аппроксимируются какой-либо аналитической функцией по программам APW 01, AKW 01 и в таком виде используются для расчетов влагопереноса в зоне неполного водонасыщения. При аппроксимации зависимости $P(\theta)$ автором использовалась формула А.М.Якиревича, а зависимости $K(\theta)$ - формула С.А.Аверьянова, которая широко используется для расчета влагопереноса в зоне неполного водонасыщения /5, 7/.

Водно-физические параметры почвогрунтов зоны аэрации автором определялись до и после эксперимента в капилляриметре, а также были использованы данные по Гарабахской региональной водно-балансовой станции КАН /5/.

Наиболее эффективный путь учета процесса отбора почвенной влаги корнями растений является использование эмпирических данных по транспирации воды, изменению во времени глубины проникновения корней в почвенный слой, интенсивности отбора влаги корнями растений по глубине. Для расчета влагопереноса автором использована зависимость интенсивности транспирации влаги растением, предложенная А.М.Якиревичом /5,7/.

Коэффициент конвективной диффузии (D) характеризует движение солей, противоположное конвективному току жидкости при наличии градиента концентрации. Величина (D) зависит от характеристик пористой структуры почв, скорости конвективного потока жидкости и вычисляется по формуле /7/:

$$D = (D_M + \lambda_C^* / V_0) \cdot \theta, \quad (14)$$

где D_M - коэффициент молекулярной диффузии, м²/сут; λ_C^* - коэффициент гидродинамической дисперсии, м; V_0 - скорость фильтрации, м/сут.

При практических расчетах можно принимать $D_M \approx 10^{-4}$ м²/сут. Коэффициент гидродинамической дисперсии является характеристикой пористой среды и должен в каждом конкретном случае определяться экспериментально. Этот параметр автором определялся по графику зависимости коэффициента гидродинамической дисперсии λ ($\lambda_C^* = \lambda / m_{акт.}$, где $m_{акт.}$ - активная пористость), по иону хлора для почв различного механического состава (график построен по данным И.П.Айдарова) /7/. По данным мехсостава и активной пористости почвогрунтов зоны аэрации участка водно-солевого режима его значения автором приняты 1,15 для 0,5 м верхнего метрового слоя и нижних слоев грунта.

Для расчета влагопереноса использована программа WTC 03, составленная в бывш. ВНИИГ и Ме, которая позволяет выполнять расчеты при условиях горизонтального дренажа в зонах полного и неполного водонасыщения. Составлены статьи водного баланса по периодам. После подбора модели влагопереноса и определения их параметров выполнено обоснование допустимой глубины УГВ. Для этого использованы данные по режиму орошения сельхозкультур, суммарное испарение при различном положении УГВ и среднесезонные значения метеоэлементов. Почвы незасоленные, слабо- и средnezасоленные. Хлор в почвогрунтах зоны аэрации изменяется от 0,005 до 0,01, т. е. по иону хлора - незасоленные. Тип почвы, в основном, сульфатно-гидрокарбонатный. Минерализация грунтовых вод - 0,8-1,4 г/л. Междреннее расстояние разное - 200, 400 и 600 м, в двухкратной повторности. При расчете влагосолепереноса использованы данные реально существующего режима орошения. На основе эпигнозных расчетов доказана адекватность использованной модели влагопереноса в условиях Гарабахской степи КАН. В результате моделирования установлено хорошее соответствие расчетных данных натурным.

В расчете принимается девятипольная система севооборота (рис. 3). Как видно из рис. 3, в первый и второй год происходит временное повышение минерализации грунтовых вод до 2,1 г/л, вследствие вымывания солей из зоны аэрации. При этом засоление почв метровой толщи уменьшается от 0,1 до 0,03%, УГВ в вегетационный период колеблется в пределах 2,3-3,0 м, в среднем составляет 2,75 м. Далее расчеты при проектном режиме орошения в условиях хлопчатника

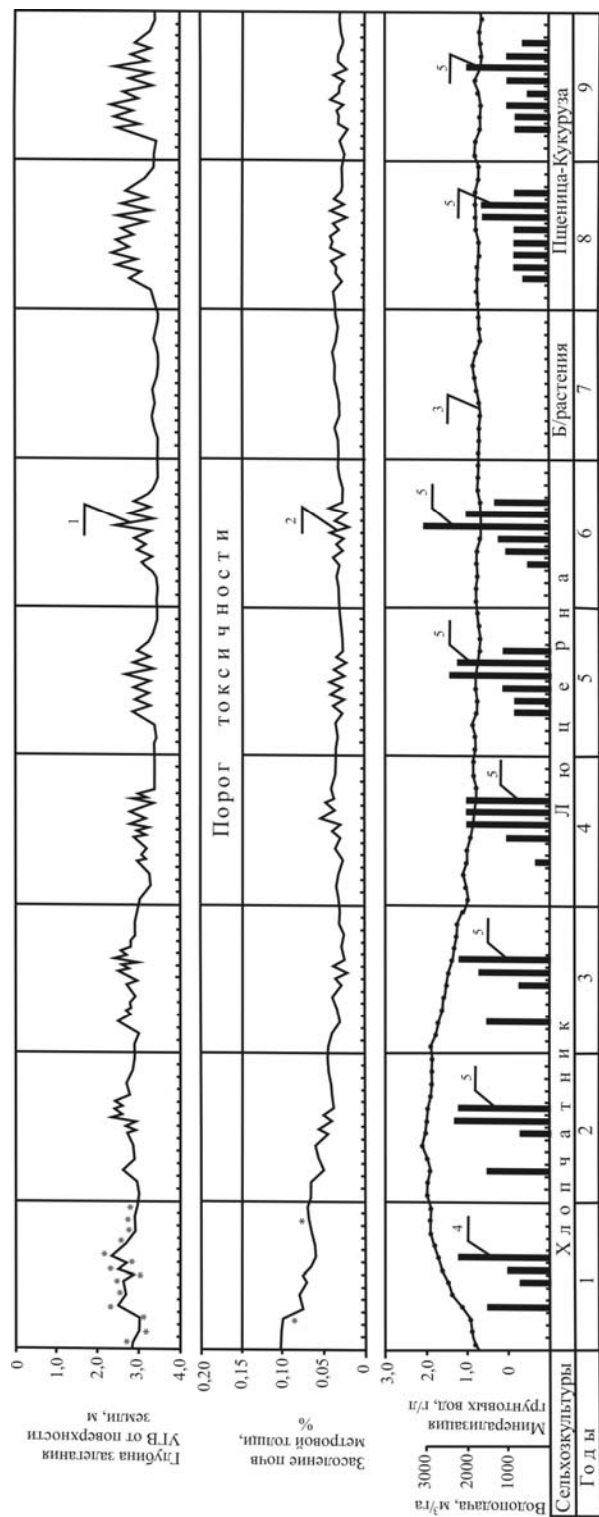


Рис. 3. Динамика уровня и минерализации грунтовых вод и слоевого режима почв верхней метровой толщи на территории Гарабахской региональной водно-балансовой станции НПО АЗНИИГ и М (почвогрунты - суглинистые, слабозасоленные, междренное расстояние - $V=400$ м). Составил Г.Ю.Майылов, 2004

1-3 - расчетные данные (1- режим уровня грунтовых вод; 2- засоление почв верхней метровой толщи; 3- режим минерализации грунтовых вод); 4- фактическая водоподача; - натурные данные; 5- проектные данные.

и люцерны показывают, что минерализация грунтовых вод постепенно уменьшается от 2,1 до 0,8 г/л и в дальнейшем стабилизируется. Частые поливы большими нормами во время возделывания люцерны значительно опресняют верхнюю метровую толщу почвогрунтов при искусственно-дренированных условиях. Вследствие этого на 7-ой год, когда посев и полив не проводятся, засоление почвогрунтов в зоне аэрации не происходит. При проектном режиме орошения в условиях пшеницы и кукурузы получается благоприятный режим минерализации грунтовых вод и засоления почв. Засоление почв стабилизируется. УГВ в условиях люцерны при отсутствии напорного питания изменяется в пределах от 2,5 до 3,4 м и в среднем составляет 3,30 м, а в условиях пшеница-кукуруза - от 2,3 до 3,3 м, в среднем - 3,0 м.

Выполненные расчеты показали, что при положении УГВ 1,0 м от поверхности земли, когда суммарное испарение за год в условиях хлопчатника составляет 8600 м³/га, люцерны - 14000 м³/га, а оросительная норма не превышает в вегетационный период, соответственно, 5500 и 7300 м³/га, формируется отрицательный водной баланс и преобладающие восходящие токи вызывают засоление почвогрунтов уже к концу первого года орошения. Чтобы при таком положении УГВ подавить процессы засоления, требуется увеличение оросительной нормы в условиях хлопчатника до 7600 м³/га, люцерны - до 12800 м³/га. При поддержании УГВ на глубине 2,0 м, для создания благоприятного водно-солевого режима оросительная норма должна составлять для хлопчатника - 6400 м³/га, люцерны - 9800 м³/га. При УГВ равном 3,0 м, в условиях хлопчатника режим орошения обеспечит необходимый солевой режим, а в условиях люцерны - потребовалось увеличить оросительные нормы до 9100 м³/га. При более глубоких залеганиях УГВ водно-солевой режим складывается благоприятно (табл. 1).

Таблица 1

**Необходимые оросительные нормы в зависимости от положения УГВ
для создания оптимального водно-солевого режима
в условиях Гарабахской степи КАН**

УГВ, м	Суммарная водоподача, м ³ /га ($N_a + N_0 = N_c$)		Добавка к оросительной норме, м ³ /га		Необходимая оросительная норма, м ³ /га		Необходимая суммарная водоподача, м ³ /га	
	хлопчатник	люцерна	хлопчатник	люцерна	хлопчатник	люцерна	хлопчатник	люцерна
1,0	7500	9300	+2100	+5500	7600	12800	9600	14800
2,0	7500	9300	+900	+2500	6400	9800	8400	11800
3,0	7500	9300	0	+1800	5500	9100	7500	11100
4,0	7500	9300	-500	-300	5000	7000	7000	9000

Примечание: N_a - атмосферные осадки (2400 м³/га); N_0 - оросительная норма (для хлопчатника - 5500 м³/га, люцерны - 7300 м³/га); N_c - суммарная водоподача, м³/га.

Были рассмотрены различные варианты расчетов. Задавалась дренированность и междреннее расстояние, которое составляло 200, 400, 600 и 800 м. При этом, в первых двух случаях складывается благоприятный водно-солевой режим, содержание солей в корнеобитаемой зоне не превышает допустимого. В следующих двух случаях (средневзвешенная величина глубины залегания УГВ, со-

ответственно, составила 2,5 и 2,0 м), когда на модели задается питание грунтовых вод снизу, засоление почвы происходит интенсивно и складывается неблагоприятный водно-солевой режим, а когда на модели отсутствует питание грунтовых вод снизу - процесс засоления почв происходит медленнее. В межполивные периоды за счет увеличения интенсивности испарения грунтовых вод соли подтягиваются вверх и содержание их переходит за порог токсичности, резко повышается содержание соды в почвогрунтах зоны аэрации. Для того, чтобы создать благоприятный водно-солевой режим в этих случаях необходимо сократить питание грунтовых вод снизу и применить дифференцированный режим орошения сельхозкультур.

Таким образом, прогноз на основе модели влагопереноса позволил обосновать допустимые глубины залегания грунтовых вод и подтвердить ранее сделанные выводы о допустимых глубинах по экспериментальным исследованиям на лизиметрических установках. Допустимая глубина залегания УГВ в изучаемых содово-засоленных землях составляет не менее 3,0 м. Эту глубину рекомендуем принимать в расчетах дренажа при составлении реконструкции мелиоративных систем в Гарабахской степи КАН и аналогичных природных и ирригационно-хозяйственных условиях республики для регулирования эколого-гидрогеологического состояния орошаемых земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А.Г., Алимов А.К., Гаврилов В.М. Зональные допустимые глубины залегания уровня грунтовых вод на орошаемой территории Азербайджанской ССР. - В кн.: Тезисы докладов V Всесоюз. совещ. по мелиор. гидрогеол., инж. геол. и мелиор. почвоведению. (г. Новая Каховка, 18-21 сентября, 1984 г.). Часть I. М., 1984, с. 13-16.
2. Алимов А.К., Сулейманова Н.А. Рекомендации по критериям оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Азербайджанской ССР. АзНИИГ и М (1986 г.). Баку: ПМБ АзНИИНТИ, 1990. -23с.
3. Майылов Г.Ю., Алимов А.К. К вопросу идентификации математической одномерной модели влагопереноса при расчете инфильтрационного питания и испарения грунтовых вод. -Доклады АН Азерб. ССР, Т. XLIII. №10. Баку, 1987.
4. Майылов Г.Ю., Алимов А.К. - Районирование территории Кура-Араксинской низменности по испарению грунтовых вод. - Известия АН Азербайджана. Серия наук о земле - География. - Баку: Элм, 1991.
5. Майылов Г.Ю., Магомедов А.М., Алимов А.К. Баланс грунтовых вод конусов выноса речных артерий и их регулирование. - Баку: Элм, 1995. -340 с.
6. Mayılov H.Y. Suvarılan ərazilərdə geokoloji tarazlığın tənzimlənməsi məqsədi ilə qrunt suları səviyyəsi kritik dərinliyinin qiymətləndirilməsi. - *Azərbaycanın faydalı qazıntıları, perspektiv sahələrin proqnozlaşdırılması və yeni tədqiqat üsulları. II Respublika elmi konfransının tezisləri (26-27 may 1998-ci il)*. Bakı: Bakı Dövlət Universitetinin nəşriyyatı, 1998.
7. Методика расчета водно-солевого режима орошаемых земель (составили: Л.М.Рекс, Л.В.Кирейчева, А.М.Якиревич). ВНИИГ и М. М., 1984. - 113с.
8. Методическое руководство по контролю мелиоративного состояния орошаемых земель Азербайджанской ССР (разработана Г.Ю.Майыловым и А.К.Алимовым). - Баку: ПМБ АзНИИНТИ, 1990. -103с.
9. Рекомендации районирования территории Кура-Араксинской низменности по инфильтрационному питанию и испарению грунтовых вод (разработана А.К.Алимовым и Г.Ю.Майыловым). Баку: ПМБ АзНИИНТИ, 1990. -51с.

10. Əzizov Q.Z. Kür-Araz ovalığının meliorasiya olunan torpaq-qruntlarının su-duz balansı və onun nəticələrinin elmi təhlili. Bakı: Elm, 2006. -260 səh.

**SUVARILAN TORPAQLARIN EKOLOJİ-HİDROGEOLOJİ VƏZİYYƏTİNİN
TƏNZİMLƏNMƏSİ ÜÇÜN QRUNT SULARI SƏVİYYƏSİNİN BURAXILA
BİLƏN YATMA DƏRİNLİYİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ**

H.Y.MAYILOV

XÜLASƏ

Məqalədə AzETH və Mİ EİB-nin Qarabağ regional su-balans stansiyasının təmsalında eksperimental (lizimetrik metoddla) və nəzəri (nəmlik – duz daşırma nəzəri metodu ilə) tədqiqatlarla suvarma şəraitində pambıq və yonca örtüyü altında qrunt sularının buraxıla bilən yatma dərinliklərinin qiymətləndirilməsi şərh edilmişdir.

**THE ASSESSMENT OF PERMISSIBLE OCCURRENCE DEPTHS
OF GROUNDWATER LEVEL FOR REGULATION
ECOLOGICAL-HYDROGEOLOGICAL CONDITION OF IRRIGATED LANDS**

H.Yu.MAYILOV

SUMMARY

The article focuses on assessments of permissible occurrence depths of groundwater level in conditions of irrigation under crops of cotton and lucerne with experimental (lysimetric methods) and theoretical investigations (methods based on theory of moisture-salt-transfer) by the example of Garabakh regional water-balance station of Research and Production Association of Azerbaijan Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Melioration.