



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

**"РОЛЬ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭКОСИСТЕМ "**

(МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ)

Москва 2006

УДК 631.6:556.3

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОПУСТИМЫЕ ПРЕДЕЛЫ ИРРИГАЦИОННОГО
ПИТАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

Д.А. Манукьян – д. т. н., проф.

ФГОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства»,

г. Москва, Россия

1. *Источники и закономерности ирригационного питания подземных вод (ИрППВ)*

Основные характеристики режима подземных вод в естественных условиях формируются преимущественно под влиянием следующих факторов: климатических, включающих в себя атмосферные осадки, температуру воздуха, испарение и др., биологических – характер растительного покрова, определяющих величину транспирации, а также группу геолого-гидрогеологических и гидродинамических факторов, связанных с геофильтрационным строением зоны аэрации и насыщенной зоны, интенсивностью притока и оттока подземных вод с выше- и нижерасположенных территорий, притока напорных вод и т.п. При этом одной из ведущих характеристик естественного режима подземных вод, в которой в наибольшей степени отражаются как сезонные, так и годовые изменения в соотношении приходных и расходных статей баланса, является уровень грунтовых вод (УГВ). Превышение вероятности атмосферных осадков определяет амплитуду изменения УГВ не только во внутригодовом режиме, особенно в весенне-осенний периоды, но и в многолетнем разрезе. Если во внутригодовом режиме колебания УГВ связаны, прежде всего, с сезонной ритмичностью метеофакторов (осадков, температуры, испарения) и его амплитуда варьирует от нескольких десятков сантиметров до 2-3 м, то в многолетнем разрезе ритмические колебания УГВ повторяются через 11-33 года, 80-90 лет и т.д., связаны они с многолетними колебаниями атмосферных осадков и температур, что в значительной степени определяются ритмичностью солнечной радиации. Таким образом, в

естественных условиях колебания УГВ носят периодический характер, в общем случае представляют собой случайную функцию и могут быть отнесены к марковским процессам.

В условиях орошения изменения УГВ – ΔH приобретают четко выраженный тренд, который выражается в устойчивом подъеме УГВ, осложненного «обертонками», связанными с чередованием поливного и неполивного периодов, весенне-осенних и летне-зимних периодов – во внутригодовом разрезе и чередованием мало- и многоводных лет – в многолетнем разрезе. При этом скорость подъема УГВ будет в значительной степени зависеть от условий естественной и искусственной дренированности исследуемой территории. Далее рассмотрим основные источники ИрППВ, их изменчивость в региональном плане и под влиянием ирригационно-хозяйственных условий. Совершенно очевидно, что в условиях регулярного орошения существенно меняется водный баланс зоны аэрации и зоны насыщения за счет значительного увеличения приходной статьи баланса рассматриваемых геосистем, прежде всего, на детальном и локальном уровнях.

Результаты многочисленных исследований в области мелиоративного почвоведения, мелиоративной гидрогеологии и гидрогеоэкологии показывают, что резкое увеличение антропогенной нагрузки, выражающееся в поступлении значительных объемов оросительной воды в гидрогеосистему, сопровождается целым рядом негативных почвенно-мелиоративных, гидрогеолого-мелиоративных (гидродинамических и гидрогеохимических), инженерно-геологических и т.п. процессов, таких как изменение водного режима почв, вторичное засоление, осолонцевание, подтопление и заболачивание сельхозугодий и прилегающих к ним территорий, увеличению минерализации и изменению химического состава подземных вод, эрозионным и просадочным явлениям и т.п. Представляя собой наиболее динамичный компонент природной среды, вода создает единое гидрогеоэкологическое пространство в границах геосистемы и выступает в роли «главного транспортера» большинства химических, радиоактивных и других загрязнителей.

Переходя к анализу закономерностей ирригационного питания ИрППВ на орошаемых землях и его количественной оценке, следует отметить, что основными источниками дополнительной, приходной статьи баланса ГВ (W_{up}) в пределах гидромелиоративных систем (ГМС) являются потери оросительной воды при поливах ($W_{инф}$) и фильтрационные потери из каналов (Φ_k) или $W_{up} = \Phi_k + W_{инф}$. Как справедливо отмечено в работе [15], «относительные объемы потерь оросительной воды на ГМС являются основными показателями ее технического совершенства».

а) При оценке инфильтрационных потерь при поливах и начале процесса подъема УГВ необходимо учитывать возможность транзитных потоков оросительной воды через хорошо проницаемые каналы, соответствующие макропористым элементам порового пространства пород зоны аэрации в объемах, достигающих 20 % от суммарных потерь воды на фильтрацию. Соответственно, на первом этапе инфильтрационного процесса происходит изменение влагосодержания трещин и макропор, а на втором – насыщение блоков, в результате которого в течение 3-5 лет формируется новая, существенно отличная от естественной эпюра влажности.

Анализ многочисленных эпюр влажности, построенных преимущественно для гомогенных пород зоны аэрации, позволяет выделить три основные зоны характерных изменений влажности: зона переменного увлажнения, в пределах которой отмечаются разнонаправленные процессы – при поливах преобладают нисходящие потоки, а при испарении в межполивные интервалы – восходящие; зона постоянной влажности отличается квазистационарным режимом, зависящим от структуры порового пространства и мехсостава пород зоны аэрации, от среднеемноголетней величины питания ГВ и зона капиллярной каймы,

в пределах которой изменения влажности зависят от изменения УГВ, а абсолютные ее значения сверху вниз варьируют в пределах от наименьшей до полной влагоемкости на границе поверхности грунтовых вод.

Таким образом, весь период трансформации гидрогеологических условий на орошаемых землях включает в себя три основных этапа: на первом этапе от начала орошения происходит перестройка влажностного режима пород зоны аэрации, накопление «памяти» системы при неизменном уровне ГВ, занимающей при больших глубинах последний период 2-5 лет; второй этап отличает постоянный однонаправленный процесс подъема УГВ, причем темп этого процесса зависит не только от объемов подаваемой оросительной воды и уровня насыщения пород зоны аэрации, но и степенью естественной дренированности территории и третий этап на землях регулярного орошения характеризуется подъемом УГВ до критической глубины, началом испарительного режима, когда режим влажности и УГВ зависят от условий поступления и расходования влаги в корнеобитаемом слое и условий дренированности территории (преимущественно искусственной).

Анализ большого объема фактических данных и модельных расчетов показывают, что величина (ИППВ) в многолетнем разрезе слабо зависит от строения зоны аэрации, в наибольшей степени на нее оказывают влияние величина оросительной нормы и способы орошения. Так, в условиях поверхностного полива величина W составляет 200 мм (Голодная степь, Центральный массив), 250 мм (Муганская ОМС), 300 мм (Джизакский массив орошения) и 490 мм в пределах Аштского массива орошения.

Заметно меньше величина ИППВ на орошаемых землях при дождевании, варьируя от 20-40 мм до 80-100 мм (орошаемые земли юга Украины), 20-150 мм (Прикаспийская низменность) и до 30-150 мм (террасы р. Волги – в зависимости от инженерного уровня мелиоративной системы). В частности, при весьма низком состоянии мелиоративной системы суммарное питание ГВ из каналов и на орошаемых землях (иригационное питание) при дождевании достигает 375-400 мм/год; в то же время на более совершенных системах данная величина уменьшается почти в два раза и составляет 180-200 мм/год (юг Украины). Аналогичная закономерность установлена и для условий Прикаспийской низменности. Если при поливах дождевальной машиной ДДА-100М иригационное питание достигает 150-170 мм/год, причем фильтрационные потери из временных оросителей в земляных руслах составляют порядка 100-120 мм/год, то при поливе ДМ «Фрегат» соответствующая величина составляет лишь 50-100 мм/год.

Результаты обобщения имеющихся данных по величине инфильтрационного питания ГВ для различных орошаемых регионов бывшего СССР приведены в табл. 1.

Таблица 1

Инфильтрационное питание подземных вод на орошаемых землях

Геолого-структурные условия	Геоморфологические условия. Мелиоративный объект. Способ полива	Годовая норма осадков, мм	Годовая норма испарения, мм	Оросительная норма, мм	Питание подземных вод, мм	Коэффициент питания, %	Скорость подъема УГВ, м/год
1	2	3	4	5	6	7	8
Голодно-степная впадина	Террасы р.Сыр-Дарьи. Джизакский массив. Поверхностный полив	400	1350	950	300	32	2,0
Ферганская котловина	Камыш-Курганская впадина. Аштский массив орошения. Поверхностный полив	130	1100	1000	490	49	0,6-2,0
Куринская межгорная впадина	Кура-Араксинская низменность. Муганская ОМС. Поверхностный полив	350	930	600	250	30	-
Причерноморская впадина	Ингулецкий массив. Дождевание	400	850	350	100	32	1,0
Юг Украины. Присивашская равнина	Каховский массив. Дождевание Фрегат	400	850	350	20-85	15-24	-
Азово-Кубанская впадина	Террасы Нижнего Дона. Н.Донская ОС. Дождевание	490	940	550	230	31	0,9
Прикаспийская низменность	Приволжская песчаная гряда. Кисловская ОС. Дождевание	300	800	420	150	23	0,7
Поволжье	Террасы р.Волги. Энгельская ОС. Дождевание	320	800	400	110	28	0,7-1,0

Интересно отметить, что коэффициент ИППВ (отношение инфильтрационного питания к оросительной норме) варьирует в пределах 20-30 % – при поверхностном поливе и 10-20 % – при дождевании.

б) Не меньший интерес представляют собой закономерности, установленные в ходе изучения фильтрационных потерь из оросительной сети: из магистральных каналов, межхозяйственной и внутрихозяйственной сети.

Здесь целесообразно выделить роль фильтрационных потерь из крупных, магистральных каналов, а также из меж- и внутриводосточной сети. В первом случае фильтрационные потери достигают 40-50% расхода канала, особенно на землях нового освоения в режиме свободной фильтрации, когда скорость подъема УГВ достигает 2,5-3,0 м/год и более. При длительных периодах эксплуатации магистральных каналов и соответствующих периодах формирования гидродинамического режима ГВ в зоне их влияния, каналы становятся региональными границами для транзитных фильтрационных потоков как грунтовых, так и напорных вод, создавая тем самым исходно высокую поверхность зеркала ГВ и нередко пьезометрической поверхности, на которую, в свою очередь, накладывается подъем УГВ от орошения. Зона влияния крупных каналов на гидрогеологические условия прилегающих земель нередко может достигать нескольких километров и более. Например, влияние т.н. вторичной напорности Южно-Голодностепского канала прослеживается на землях юго-восточного массива Голодной степи на расстоянии более 12 км, при этом, что процессы испарения и транспирации в зонах, непосредственно прилегающих к каналам, в определенной степени стабилизируют напор и ограничивают зону влияния. Перечисленные выше закономерности гидродинамического режима ГВ, формирующиеся вблизи крупных каналов, характерны для большинства из известных «рукотворных» рек, и на которых автору пришлось работать: Главный Каракумский канал им. В.И. Ленина (Туркмения), Южно-Голодностепский канал (Киргизия), Северо-Крымский канал и Главный Каховский магистральные каналы (Украина), Главный Муганский и Верхне-Карабахский каналы (Азербайджан), Большой Ставропольский и Саратовский каналы (Россия) и т.д.

Факты негативных последствий, связанные со значительными потерями воды из каналов, а именно: создание «местного» подпора и подъема УГВ, активизация процессов засоления и заболачивания и т.п. и, соответственно, ухудшение мелиоративного и экологического состояния на прилегающих землях, позволяют сделать вывод о целесообразности проведения противофильтрационных мероприятий и повышения КПД каналов. И это несмотря на утверждение противников указанных выше действительно дорогостоящих мероприятий, отмечающих, что длительная эксплуатация каналов с высоким объемом твердого стока в течение десятков лет приводит к естественной кольматации русла каналов и заметному уменьшению фильтрационных потерь.

Многочисленные натурные исследования [3, 5] по оценке эффективности защитных мероприятий и, в частности, грунтопленочных экранов и бетонных облицовок оросительных каналов показали, что в указанных случаях отмечается уменьшение фильтрационных потерь в 2-4 раза, а местами в 7-10 раз. В работе [5] приведены результаты натурных исследований на каналах Северо-Крымской, Северо-Рогачикской, Ингулецкой, Краснознаменной и Каховской ОС, которые доказывают, что наиболее эффективной является облицовка из монолитного бетона, уложенного по пленке; в зависимости от гидрогеологических условий фильтрационные потери из каналов уменьшаются в 30-40 раз.

В зависимости от типа облицовок меняется и коэффициент полезного действия каналов: если в земляном русле КПД канала достигает 0,6-0,7, то при использовании бетонных и железобетонных облицовок $KPD = 0,91-0,96$, при бетонно-пленочном и грунто-пленочном он достигает величин 0,96-0,98 и 0,98-0,99, соответственно [4].

Однако суммарную величину КПД ОС определяет в большей степени уровень фильтрационных потерь из временных оросительной сети. Еще А.Н. Костяков отмечал, что «густая сеть постоянных оросителей имеет очень большую длину на единицу орошаемой площади, что влечет значительные потери на фильтрацию в грунт и повышение вследствие этого УГВ вдоль этих каналов».

В подобных случаях КПД внутрихозяйственной сети редко достигает значений 0,60-0,7 или 0,65-0,75, если они проложены в земляном русле в супесях или суглинках, соответственно; чаще всего КПД внутрихозяйственной сети варьирует в пределах 0,52-0,60. Естественно, что при прокладке внутрихозяйственных сетей в бетонной облицовке и в лотках КПД последних значительно выше и их значения варьируют в пределах 0,75-0,86 и 0,86-0,96, соответственно.

Интерес представляют оценки значений фильтрационных потерь во внутрихозяйственной сети, приведенные в работе [11] для различных природно-хозяйственных условий орошаемых земель и составляющие при использовании дождевальных агрегатов ДДА и ДДН порядка 39 % (юг Украины), 30-35 % (Сыртовое Заволжье) и до 70 % (Прикаспийская низменность) от общей величины инфильтрационного питания грунтовых вод. Аналогичные цифры приводятся и в работе [13].

Установленные выше источники и закономерности изменения ирригационного питания ГВ в различных природно-климатических зонах показывают, что лишь путем создания современных совершенных ГМС инженерного типа можно минимизировать антропогенную нагрузку на природную среду и обеспечить функционирование мелиорируемых агроландшафтов в пределах заданных экологических ограничений.

2. *Обоснование экологически допустимых пределов ирригационного питания подземных вод на орошаемых землях*

Установленные ранее закономерности ирригационного питания подземных вод (ИрППВ) в различных природно-климатических условиях орошаемых земель показывают, что при современных технологиях орошения идея полного исключения ИрППВ и проведение оросительных мелиораций в бездренажных условиях представляется утопической.

С другой стороны, если ранее под мелиоративным режимом понималось «совокупность требований к регулируемым факторам почвообразования, обеспечивающим коренное улучшение и дальнейшее повышение плодородия почв и получение заданного урожая определенных сельскохозяйственных культур» [1], то в настоящее время помимо перечисленных выше требований при разработке мелиоративных режимов ставится задача минимизации возможной связи биологического круговорота влаги и, соответственно, элементов питания и органического вещества с геологическим круговоротом воды и биогенов, то есть в конечном счете, задача минимизации антропогенного воздействия на природную среду.

Наиболее эффективным методом решения поставленной задачи является метод математического моделирования, основанный на представлении движения влаги в ненасыщенной зоне, то есть в зоне аэрации (ЗА) и воды – в насыщенной зоне в виде детерминированной математической модели, в максимальной степени учитывающей все особенности не только исследуемых процессов, но и структуру порового пространства пород ЗА и насыщенной зоны.

Следует отметить, что обобщение закона Дарси, сформулированное Букингом для ненасыщенной зоны, было выполнено Ричардсом, который вывел уравнение влагопереноса при предположении о несжимаемости воды и недеформируемости порового пространства пород зоны аэрации.

При тех же предположениях, в дальнейшем Рубин разработал двумерную модель для условий насыщенно-ненасыщенной зоны, которую позднее усовершенствовал Фриз для сжимаемой жидкости и деформируемой пористой среды. Нами была предложена квазитрехмерная модель движения воды в насыщенно-ненасыщенной зоне, ограниченной сверху поверхностью земли («поверхность инфильтрации») до водоупора [6, 7]. Модель

включает в себя одномерную модель Ричардса в ненасыщенной среде, которая сопрягается с двумерной моделью потока в насыщенной зоне.

Определенный интерес представляет также рассмотрение варианта одномерной модели влагопереноса (1), более приближенной к анализируемой проблеме в системе «поверхность инфильтрации – почва – растение – грунтовые воды».

Наиболее адекватной в предлагаемой постановке представляется следующая модель влагопереноса:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial z} + 1 \right) \right] + \varepsilon(\theta, z, t); \quad (1)$$

$$\theta(0, z) = \theta_0(z); \quad (2)$$

$$K(\theta) \left(\frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial z} + 1 \right) \Big|_{z=0} = E(t) + O(t) + \sum_i Q_i(t); \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=L} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $E(t)$ – эвапотранспирация, мм/год; $O(t)$ – осадки, мм/год; $Q(t)$ – оросительная норма, мм/год; P – давление; θ – объемная влажность; Ψ – пьезометрический напор; $K(\theta)$ – гидравлическая проводимость; z – вертикальная координата; ε – функция источников стоков; t – время.

Приравнивание (4) нулю физически соответствует условию нулевого ИППВ, что представляется ошибочным и практически невыполнимым.

Наиболее существенными позициями по совершенствованию известных моделей влагопереноса представляется введение условий (3), (4), соответственно, на верхней («поверхность инфильтрации») и на нижней границах расчетной области.

При этом правая часть в условии (3) носит характер алгебраической суммы, а третье слагаемое $q(t)$ представляет собой управляющий элемент всей системы (1)-(4) и характеризует поливной режим, при котором в оптимальном варианте необходимо выполнение накладываемых на него ограничений /Е.П. Галямин, А.Л. Соколов/:

$$y_i(q_i(t)) \rightarrow \max y(q(t)); \quad (5)$$

$$q_{\min} \leq q(t) \leq q_{\max} \quad (6)$$

$$\int_0^{t_{\max}} q(t) dt \leq Q, \quad (7)$$

где $y_i(q(t))$ – величина урожая, соответствующая i -му варианту поливного режима;

Q – оросительная норма.

В традиционном случае задача оптимизации поливного режима (режима орошения) сводится к поиску такой функции $q_i(t)$, которая удовлетворяла условиям (6), (7), а с другой стороны, входила бы в граничное условие (3) уравнения влагопереноса. При этом влажность корнеобитаемого слоя (КС), рассчитанная из уравнения (1), используется в модели формирования урожая.

В предлагаемом нами подходе решение минимаксной задачи оптимизации системы (1)...(7), помимо увязки модели влагопереноса с моделью процесса формирования урожая через модель роста и развития корневой системы различных сельхозкультур, должно основываться на выполнении условия (8), соответствующего условию минимизации инфильтрационного питания грунтовых вод при рациональных режимах орошения.

В конечном счете решение системы уравнений (1)-(7) может быть найдено путем проведения сценарных исследований, в которых исходными величинами являются различные величины влажности КС, по которым рассчитываются оросительные нормы, соответствующие им урожай сельхозкультуры и, в заключении – величина ИППВ. Предпочтительным считается вариант с минимальным значением последней.

Хорошо известно, что величина влажности корнеобитаемого слоя в вегетационный период, так же, как и величина инфильтрационного питания ГВ, в системе показателей мелиоративных режимов на орошаемых землях (водного, солевого, воздушного, теплового и пищевого) имеют первостепенное значение. К сожалению, большинство рекомендаций по регулированию указанных показателей /С.Я. Безднина, С.Д. Исаева, Н.И. Парфенова и др./ носят чисто декларативный и умозрительный характер и не подкреплены ни модельными расчетами, ни анализом имеющегося фактического материала.

Обработка большого количества данных [5, 6, 7, 9, 10], по водному режиму орошаемых земель и выполненное на их основе моделирование процессов влагопереноса позволили нам не только обосновать экологически допустимые пределы регулирования влажности КС, но и установить корреляционную связь последней с величиной ИППВ. Так, например, снижение пределов регулирования влажности КС с 0,8-0,95 % НВ до 0,7-0,8 НВ и далее до 0,6-0,75 НВ уменьшает величину оросительной нормы в 1,5-2,0 раза, что соответственно, приводит к сокращению ИППВ на 20-50 % от суммарной водоподачи [8].

Аналогичные оценки водного режима почв даны в работе [2], посвященной расчетам мелиоративных режимов орошаемых предкавказских черноземов Ростовской области.

Основываясь на выполненных оценках водного режима КС, а также солевого и пищевого режимов, авторы работы [2] считают наиболее предпочтительным вариант, при котором пределы регулирования водного режима КС удерживается на уровне 0,6-0,7 НВ; при этом коэффициент ИрППВ не превышает суммарной величины $O_c + O_p$. Тогда экологически обоснованные значения относительной урожайности $y_{\text{эо}} = y_i / y_{\text{max}}$ составит 0,8. Именно при нем выполняется условие наиболее рационального использования природных (водных и земельных) ресурсов и обеспечивается минимальное воздействие на окружающую среду. Анализ большого фактического материала и выполненные расчеты по сопоставлению пределов регулирования водного режима КС с величиной коэффициента питания позволяет сделать достаточно интересный вывод: увлажнение КС в реальных условиях орошаемых земель в течение вегетационного периода, как правило, составляет не менее 0,8-0,9 НВ, что говорит о невысоком техническом и технологическом уровне проведения оросительных мелиораций. На основании выполненных исследований (табл. 2) нами предлагаются следующие значения экологически допустимых пределов ИрППВ в различных ландшафтно-географических зонах РФ при существующем техническом и технологическом уровне развития оросительных мелиораций.

Таблица 2

**Экологически допустимые пределы ирригационного питания подземных вод
в различных ландшафтно-географических зонах**

Ландшафтно-географическая зона	Основной тип почв	Среднегоголет-ние осадки, мм	Оптимальное увлажнение почвенного слоя (% от НВ)	Экологически благоприятная оросительная норма, мм	Потери на орошаемых землях ИПВ	КПД оросительной сети	Потери из оросительной сети	Ирригационное (суммарное) питание ПВ, мм	Суммарное испарение, мм	Ограничения на питание ПВ (% от суммарного испарения)
Лесостепная	Выщелоченно-типично-луговые и др. черноземы	620	0,65-0,75	<u>60-100</u> дождевание	<u>(8-10)%</u> 10 мм	0,92-0,95	<u>(5-8) %</u> (15-20) мм	25-30	500-550	<u>(5-8)%</u> (45-55) мм
Степная	Обыкновенно-южно-карбонатно-черноземные	500	0,65-0,75	<u>130-270</u> дождевание	<u>(5-8)%</u> (20-25) мм	0,88-0,90	<u>(10-12) %</u> (25-30) мм	45-50	800-850	<u>(8-10)%</u> (60-75) мм
Сухо-степная	Темно-каштановые	370	0,7-0,8	<u>400-590</u> дождевание	<u>(8-15)%</u> (45-60) мм	0,80-0,85	<u>(15-20)%</u> (35-40) мм	80-100	900-950	<u>(10-15)%</u> (100-135)мм
Полупустынная	Сероземы	300	0,7-0,85	<u>500-650</u> поверхностный полив	<u>(15-17)%</u> (70-90) мм	0,70-0,75	<u>(25-30) %</u> (45-55) мм	100-120	1100-1200	<u>(20-25)%</u> (180-220)мм
Пустынная	Сероземы	200	0,7-0,9	<u>690-880</u> поверхностный полив	<u>(17-20)%</u> (100-110)мм	0,60-0,65	<u>(35-40) %</u> (60-70) мм	150-250	1400-1500	<u>(25-40)%</u> (250-350)мм

Библиографический список

1. Айдаров И.П., Голованов А.И. Мелиоративный режим орошаемых земель и пути его улучшения. //Гидротехника и мелиорация. 1986. № 8. С. 44-47.
2. Айдаров И.П., Корольков А.И. Мелиоративные режимы орошаемых черноземов. //Гидротехника и мелиорация. 1986. № 1. С. 14-19.
3. Акуленко Ю.Н. Влияние грунтовых вод на водно-солевой режим орошаемых земель в Центральной Кулунде. /Сб. Тезисы докладов V Всес. Совещания по мелиоративной гидрогеологии, инж.геологии и мелиор.почвоведению. – М., 1984. Ч 1.
4. Алексеевский В.Е., Химич Д.П. Опыт проведения комплексных исследований на Керченском полуострове. /Обзорная информация. ЦБНТИ Минводхоза СССР. – М., 1979. № 3.
5. Алтунин В.С., Бородин В.А. и др. Защитные покрытия оросительных каналов. – М.: Агропромиздат, 1988.
6. Борисов В.С., Манукьян Д.А. О моделировании водного и солевого режимов осваиваемых территорий при автоматизации проектирования ГМС. /В сб. Автоматизация подготовки и управления водохозяйственным строительством – М.: ВНИИГиМ, 1985. С.110-119.
7. Борисов В.С., Манукьян Д.А. Совершенствование модели водного режима на мелиорируемых землях. /Труды ВНИИГиМ. Теория и практика мелиораций, - М., 1989. № 75. С. 193-199.
8. Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. Формирование, развитие. – М.: Колос, 1984.
9. Зоценко А.Ф. Противофильтрационная эффективность бетонных облицовок каналов. –М.: Минводхоз, 1988. № 5.
10. Кац Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. – М.: Колос, 1976. 271 с.
11. Кирейчева Л.В., Решеткина Н.М. Концепция создания устойчивых мелиорированных агроландшафтов. – М.: ВНИИГиМ, 1997.
12. Манукьян Д.А. Теория и методология прогнозирования режима подземных вод на орошаемых землях с учетом экологических требований. Автореф. дисс....д-ра техн. наук. – М., 1994.
13. Четвертков С.С. О мелиорации почв Поволжья. //Почвоведение. 1994. № 6. С. 100-105.
14. Шестаков В.М., Пашковский И.С., Сойфер А.М. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях. – М.: Недра, 1982. С.244.
15. Яшин В.М. Обоснование экологических норм инфильтрационных потерь оросительной воды. – М.: Минводхоз, 1998. № 4. С. 22-25.

16. Yakirevich A., Borisov V., Sorek S. A quasi three-dimensional model for flow and transport in unsaturated and saturated zones: 1. Implementation of the quasi two-dimensional case. //Advances in Water Resources, Vol. 21, No. 8, 1998. pp. 679-689.