

На правах рукописи

РГБ ОД

20 НОЯ 2000

МЕЛЬНИКОВА ЕЛЕНА АНДРЕЕВНА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВОГРУНТАХ**

Специальности: 05.23.16 - гидравлика и инженерная
гидрология

06.01.02 - сельскохозяйственная мелиорация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2000

Работа выполнена в Брянской государственной
сельскохозяйственной академии

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Алиев Тапдыг Алипашаевич

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
Василенков Валерий Федорович

Официальные оппоненты: доктор геогр. наук, профессор
Алексеевский Николай Иванович
доктор технических наук, профессор
Рекс Леонид Мечеславович;

Ведущая организация – Управление по мелиорации земель и
сельскохозяйственному водоснабжению Брянской области
«Брянскмелиоводхоз»

Защита состоится «21» июля 2000г. в 11⁰⁰ часов на за-
седании диссертационного совета к. 120.41.01. в Государствен-
ном предприятии – специализированном научном центре
«Госэкомелиовод» по адресу:
107005, г. Москва, ул. Бауманская , 43/1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГПСНЦ
«Госэкомелиовод».

Автореферат разослан «20» июня 2000г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук - Колесникова Татьяна Васильевна.

17032.241.05 с 21,0

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Дефицит водных ресурсов, являющихся важнейшей составной частью окружающей человека среды и одновременно одним из определяющих факторов развития и размещения производительных сил страны, приобрел в настоящее время глобальный характер.

Россия занимает территорию, равную 11.5% всей суши. Осадки, выпадающие на территории России, составляют всего около 8% выпадающих на всей суше, полный речной сток - около 11%, подземный сток - около 8%, то есть меньше доли территории Российской Федерации во всей суше. В связи с резко возросшей потребностью в воде остро встает проблема рационализации использования водных ресурсов, решение которой возможно на основе их оперативного учета, точного определения составляющих водного баланса в пространстве и во времени. Точность расчета элементов водного баланса зависит прежде всего от корректности вычисления наиболее сложно определяемой величины - суммарного испарения.

Существующие методы учета и регулирования составляющих водного баланса не всегда удовлетворяют требованиям экономного и интенсивного использования водных ресурсов и решению экологических проблем. Необходимо совершенствование методов расчета гидрологических характеристик для оптимизации параметров водохозяйственных объектов, лучшего обоснования норм орошения, решения экологических задач.

Цель и задачи исследований: Целью работы является совершенствование теории влагопереноса в почвогрунтах на основе разработки кинетических моделей и изучения кинетики процесса иссушения почвенной толщи под влиянием испарения и транспирации влаги, создание более совершенных методов расчета запасов почвенной влаги для рационализации использования водных ресурсов

Для достижения поставленной цели потребовалось решение ряда задач:

-разработать математическую модель, описывающую процесс иссушения почвогрунтов под влиянием испарения при определяющем влиянии скорости подтока влаги под действием гравитационных сил к испаряющей поверхности, отражающую в

соответствии с требованиями системного подхода взаимодействие и превращение компонентов системы

- составить схемы механизма перехода насыщенной влагой почвенной толщи в иссушенную зону, отражающие разделение процесса на ряд стадий;

- построить систему дифференциальных уравнений, отражающих уменьшение скорости снижения запасов влаги вследствие затрудненного доступа атмосферного воздуха в почвенные капилляры, и показать экстремальный характер зависимости общей скорости изменения запасов влаги и S-образный характер кинетических кривых изменения запасов влаги во времени;

- построить систему дифференциальных уравнений, описывающих изменение запасов влаги в почвогрунтах под влиянием впитывания с поверхности поливных и осадочных вод и испарения;

- обозначить положительные качества моделей, обуславливающие их эффективность;

- разработать на основе кинетических моделей методику режимов орошения сельскохозяйственных культур;

- определить направления дальнейших исследований.

Методика исследований. В работе используется метод математического моделирования, нашедший широкое применение в естественных науках. В рамках этого метода разрабатываются и анализируются соответствующие кинетические модели, которые представляют собой системы нелинейных дифференциальных уравнений, исследование которых проводится современными математическими методами. Широко используются результаты исследований основоположников науки о движении почвенной влаги. Адекватность расчетных результатов экспериментальным проверяется сравнением с данными, полученными в ходе собственных полевых исследований и результатами наблюдений других исследователей.

Полевые опыты проводились согласно стандартной методике, принятой на сети государственных метеостанций, использовался также микро -деляночный метод.

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

- построена модель, описывающая взаимодействие двух обобщенных кинетических единиц - насыщенной влагой почвенной толщи и иссушенной зоны;

- получена закономерность изменения влажности почвы по глубине под влиянием испарения и транспирации;

- получена модель, описывающая взаимодействие зоны насыщения с зоной иссушения, учитывающая влияние вакуума;

- найдено аналитическое выражение для вакуума, характеризующего ограниченный доступ атмосферного воздуха в почвенные капилляры;

- разработана модель перехода зоны насыщенной влагой почвенной толщи в иссушенную и обратно при впитывании с поверхности почвы и испарении;

- установлен экспериментальный факт постоянства максимальной логарифмической скорости снижения запасов влаги $\eta_1 H_B$ при значительном изменении запасов влаги в любой точке поля севооборота по годам и сезонам.

Основные положения, выносимые на защиту:

- процесс иссушения почвы при отсутствии капиллярного подпитывания от грунтовых вод определяется скоростью подвода воды менисковыми силами капилляров к испаряющей поверхности;

- комплекс кинетических моделей влагопереноса в почвах и грунтах:

- модель, описывающая взаимодействие насыщенной влагой почвенной толщи и иссушенной;

- модель, описывающая взаимодействие зоны насыщенной влагой почвенной толщи с зоной иссушения, учитывающая влияние затрудненного доступа воздуха в почвенную толщу;

- модель перехода насыщенной зоны почвенной толщи в иссушенную в результате испарения и насыщения иссушенной зоны при впитывании с поверхности;

- методика прогнозирования изменения влагозапасов в почвенной толще, на основе разработанных моделей влагопереноса;

- методика расчета поливного режима с учетом иссушения по слоям почвы, позволяющая снизить оросительные нормы.

Практическая ценность и реализация результатов исследований. Полученные кинетические модели могут найти применение в различных областях народного хозяйства, связанных с процессами иссушения почв и грунтов под влиянием испарения, проектированием режимов орошения сельскохозяйственных культур, разработкой торфоучастков, подсушкой осадков на иловых площадках очистных сооружений, планировкой мелиорируемых земель, механической обработкой почв и производством других строительных работ, зависящих от влажности почв.

В диссертации разработаны методы расчета применительно к нуждам водохозяйственного строительства и водного хозяйства:

- регулирования влагообеспеченности сельскохозяйственных культур;
- прогнозирования сроков наступления оптимальной влажности для проведения планировочных работ на мелиорируемых землях;
- прогнозирования сроков подсушки осадков сточных вод на иловых площадках.

Использование практических рекомендаций позволит уменьшить полезную емкость проектируемых прудов, увеличить площадь орошения существующих прудов на 30-40% или использовать их комплексно, улучшить технико-экономические показатели проектируемых объектов водохозяйственного строительства, даст природоохранный эффект за счет применения водосберегающей технологии расчета поливных и оросительных норм.

Результаты исследований использованы при разработке "Рекомендаций по расчетам регулирования влажности почвы при водосберегающей технологии поливов", применены проектным институтом "Туркменгипроводхоз", Гидрогеолого-мелиоративной экспедицией в Туркменистане при проектировании водохозяйственных объектов.

Результаты работы используются в учебном процессе по специальности "Машины и оборудование природообустройства", "Комплексное использование и охрана водных ресурсов", "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" в лекционных курсах при изложении теоретических вопросов, в курсовых и

дипломных проектах при определении оптимальных параметров элементов водохозяйственных объектов.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований опубликованы в 10 печатных работах. Объем печатных работ-3,2 печатных листа

Апробация работы заключается в докладах и обсуждениях результатов исследований на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Брянской Государственной сельскохозяйственной академии в 1996 - 1999 годах, на заседании специалистов Государственного проектно-изыскательского института "Брянскгипроводхоз".

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав. Работа изложена на 190 страницах машинописного текста и включает 12 таблиц, 75 рисунков. Список использованной литературы включает 160 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение. Дано краткое описание современного состояния изученности проблемы математического моделирования процессов влагопереноса в почвах и грунтах, обоснована ее актуальность, сформулированы цели и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан критический анализ современного подхода к изучению процессов влагопереноса в почвах и грунтах, характеристике условий естественной влагообеспеченности, методов нормирования орошения, принципов расчета режимов гидромелиораций. Рассмотрены работы отечественных и зарубежных ученых по изучаемой проблеме: С.И. Небольсина, М.И. Будыко, Г. Тюрка, А.Пенка, И.А.Прескотта, Д.И. Абрамовича. С.С.Невструева, Д. Шашко, В.С. Мезенцева, Х.Л.Пенмана, С.И. Харченко, А.Р. Константинова, Г.Т. Селянинова, А.М. Алпатьева, А.Ф. Чудновского, А.И. Голованова, Е.П. Галямина, Р.А.Полузктова и других. Все методы нормирования орошения базируются на воднобалансовых расчетах. Наиболее трудоемко определяемый член уравнения водного баланса – суммарное испарение Его определение является камнем преткновения в большинстве случаев при расчете динамики влагозапасов почвы.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом используются десятки методов нормирования орошения сельскохозяйственных культур: радиационного баланса или суммарной радиации, метод турбулентной диффузии и теплового баланса, комплексные методы расчета испарения с одновременным использованием элементов водного и теплового баланса деятельного слоя почвы, агроклиматические расчеты, методика ФАО, биологических кривых, путем непосредственного учета гидрометеорологических условий, основанный на уравнении связи теплового и водного баланса и другие. Практически все они или недостаточно точны, или трудоемки, или локальны. На современном этапе развития орошения необходима более совершенная методика нормирования орошения, достаточно корректно учитывающая погодные условия конкретного года, особенности водопотребления сельскохозяйственных культур, изменения влагозапасов почвы по глубине под влиянием поливов и испарения, территориальные различия и другие факторы, обеспечивающая более экономное использование воды.

Во второй главе дана характеристика полевых материалов влагозапасов почвогрунтов, полученных на метеостанциях Брянской области, Рязанской области, Чувашии с разнообразными грунтовыми и почвенными условиями за десятилетний период. Описана примененная методика отбора проб и обработки данных, соответствующая принятой на сети государственных метеостанций страны.

На опытном участке в поселке Кокино Брянской области в 1997 году проводились экспериментальные работы по наблюдению за изменением влажности почвы в ходе испарения при различной обработке почвы и плотности почвенных слоев. Ставилась задача выявления влияния уплотнения почвенных слоев на аэрацию и влагоперенос в почве.

Для исследований был применен микро-деляночный метод. На каждой из восьми микро-делянок, изолированных друг от друга, окружающего массива и прямого воздействия осадков полиэтиленовой пленкой, создавались условия с определенным вариантом уплотнения почвенных слоев: с уплотнением поверхностного слоя, основания, промежуточных слоев, разрыхлением поверхностного слоя, естественной плотности, с

естественным травостоем. Аналогичные опыты проводились в закрытом грунте при отсутствии почвенного покрова в лаборатории БГСХА на глинистых грунтах при плотности грунта, превышающей плотность его в естественных полевых условиях. Отбор проб и обработка экспериментальных данных производились по стандартной методике, принятой на государственных метеостанциях. По полученным значениям влажности строились кривые изменения влажности почвы во времени. На делянках с уплотненными почвенными слоями влажность стабилизировалась при значениях, превышающих ВРК. Анализ результатов проведенных опытов позволил сделать следующие выводы: уплотнение почвенных слоев уменьшает ее аэрированность, затрудняет передвижение влаги к поверхностным слоям почвы и уменьшает потери влаги на испарение, замедляет иссушение почвы

В лаборатории БГСХА в 1997 году были проведены исследования процесса транспирации влаги из сообщающихся капилляров с помощью приборов для демонстрации всасывания воды корнями ПВВК. В широкую часть было посажено растение, сосуды заполнены питательным раствором. В ходе опыта, длившегося 20 дней, сосуды периодически герметично укупоривались и открывались в определенной последовательности, при этом фиксировались изменения уровней жидкости в обоих сосудах приборов. Проведенные исследования показали, что при свободном доступе воздуха растение использует влагу из всех сообщающихся капилляров. При отсутствии свободного доступа воздуха, что наблюдается при его защемлении в капилляре, растение использует влагу только из того капилляра, в котором расположены его корневые волоски. Из сообщающегося капилляра влага используется до достижения в нем определенного разряжения и в дальнейшем не используется даже при значениях влажности, превышающей НВ.

В этой же главе описаны методы математического моделирования процессов влагопереноса в почве, использованные в диссертационной работе. Экспериментальные исследования изменения запасов влаги в ходе испарения выявили факты, не описываемые существующими диффузионными моделями: типично S-образный характер кривых изменения запасов влаги в почвенной толще во времени; постоянство максимальной лог

рифмической скорости изменения запасов влаги; увеличение давления менисковых сил. Делается заключение, что в целях дальнейшего совершенствования теории влагопереноса в почве необходимо описать процесс влагопереноса на основе диффузионно-кинетической и только кинетической модели.

В третьей главе описываются особенности моделируемых процессов влагопереноса в системе почва-растение - атмосфера. На влагоперенос в почве влияют силы, возникающие между твердыми почвенными частицами и влагой, обязанные своим происхождением поверхностной энергии твердых частиц и воды. По особенностям проявления их разделяют на сорбционные, стремящиеся закрепить молекулы воды около поверхности почвенных частиц, капиллярные (менисковые), действующие на некоторый объем свободной влаги, осмотические, источник которых находится в самом растворе. Почвенная влага, обладающая потенциальной энергией силы тяжести, имеет тенденцию к нисходящему передвижению, чему противостоят сорбционные и менисковые силы, под воздействием которых влага передвигается к испаряющей поверхности.

Далее рассматриваются особенности поведения воды, поступившей в почвенные поры в естественных условиях в зависимости от мехсостава и структуры почв.

В этой же главе описываются особенности влагопереноса в почве при наличии в ее порах заземленного воздуха, причины заземления воздуха в почвенных порах, влияние уплотненности почвенных слоев и термических градиентов на процесс влагопереноса, а также процессы переноса капиллярно - подвешенной влаги, особенности учета ее влияния на влагоперенос в активном слое почвы.

Значительное воздействие на процесс испарения почвенной влаги оказывает наличие и состояние растительного покрова. Растительный покров наряду с испарением почвенной влаги посредством транспирации оказывает и защитное действие. Транспирация растений как физический процесс подчиняется закономерностям испарения воды с влажных поверхностей, ее можно рассматривать как диффузионный процесс, интенсивность которого пропорциональна разности концентраций пара у испаряющих поверхностей и атмосферы. В конечном счете решающим фактором для процесса транспирации явля

ется наличие достаточного количества продуктивной влаги в почве. Вода по проводящей системе растений движется сплошным потоком. В итоге всю воду, содержащуюся в растении, можно рассматривать как единое целое, связанное силами молекулярного сцепления и находящееся в состоянии гидродинамического напряжения, создаваемого транспирацией.

Такая трактовка поступления и передвижения влаги в растении позволяет применить к этому процессу закономерности, применяемые к процессу влагопереноса в почве. Поток влаги в системе почва-растение-атмосфера может и должен изучаться на той же основе, что и поток влаги в почве. Делается вывод, что в основе моделирования должен лежать механизм подачи воды к испаряющей поверхности как наиболее медленный по сравнению с диффузионным процессом испарения влаги с поверхности почвы.

В четвертой главе "Модели процесса влагопереноса в почвогрунтах под влиянием испарения" на основе анализа механизма процесса влагопереноса составлена его схема.

Схема отражает возможные стадии перехода исходного вещества системы - насыщенной влагой зоны почвенной толщи в иссушенную зону и учитывает на данном уровне абстрагирования основные характерные черты описываемого процесса.

Принято, что все изменения в системе "почвенная влаговнешняя среда" происходят в результате взаимодействия двух обобщенных кинетических единиц - насыщенной влагой зоны почвенной толщи и иссушенной зоны:

$$Z + W \rightarrow Z + Z,$$

где Z , W - величина иссушенной в результате испарения и транспирации влаги слоя почвы и насыщенного влагой слоя почвы в рассматриваемом сечении.

Диффузионные модели влагопереноса отражают процесс выравнивания во времени концентрации влаги. При этом градиенты влажности уменьшаются, а так как по закону Дарси скорость движения влаги пропорциональна градиенту, то уменьшается и скорость движения влаги.

Для движущейся под действием менисковых сил влаги характерно увеличение скорости движения во времени, так как по мере иссушения увеличивается градиент менисковых сил, определяющих подток влаги к поверхности почвы.

Испарение происходит из зоны "W", но влага поступает из зоны "Z" за счет переноса влаги из капилляра в капилляр. С ростом температуры усиление испарения сопровождается ростом кривизны менисков в зоне "W", то есть изменением силы давления менисков.

Механизм влагопереноса поясняет рисунок 1

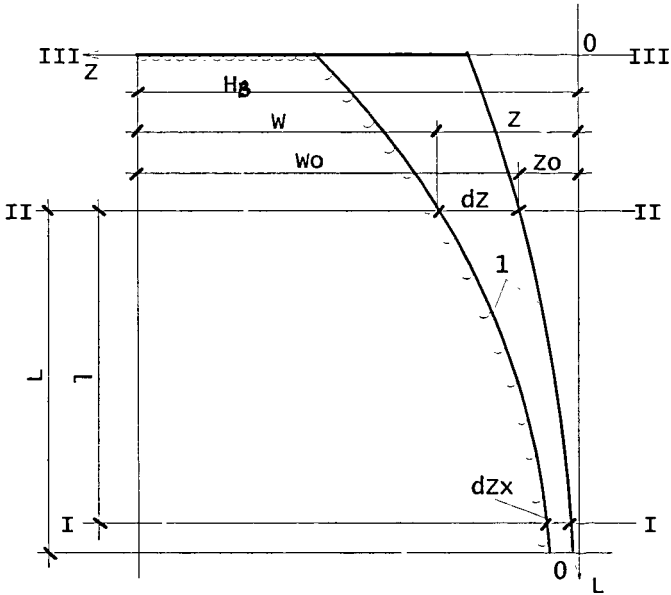


Рис. 1.- Схема процесса влагопереноса в почвенной толще:
 I-I - граница внутригрунтового водосбора;
 II-II - рассматриваемое горизонтальное сечение;
 III-III - поверхность почвы;

1 - кривые пересечения поверхности, ограничивающей капиллярные мениски в пространстве с вертикальной плоскостью сечения почвенной толщи;

W- зона почвенной толщи в сечении II-II, занятая влагой, содержащейся в вертикальной колонне сечением 1 м^2 ;

Z- иссушенный в результате испарения влаги слой почвенной толщи в сечении II-II;

H_g - зона почвенной толщи, занятая влагой при насыщении до наименьшей влагоемкости вертикальной колонны сечением 1 м^2 ;

l - расстояние от рассматриваемого сечения II-II до границы водосбора I-I;

L - расстояние от сечения II-II до гипотетической точки "0" пересечения кривых "1", ограничивающих капиллярные мениски в разные моменты времени.

Используя закон Дарси, считая водоотдачу постоянной, приняв ширину вертикального потока влаги равным 1 м, напишем уравнение баланса для сечения II-II в дифференциальной форме:

$$l\varphi K_c dz = KPWdt / L, \quad (1)$$

где K - коэффициент влагопроводности почвы; K_c - коэффициент влагонасыщения; P - давление менисков, пропорциональное Z , $P = \alpha Z$; α - коэффициент пропорциональности;

$$\varphi = \frac{2L - l}{L} - \text{коэффициент, характеризующий форму кривой, ограничивающей капиллярные мениски (в целях упрощения принято в виде прямой).}$$

Обозначим $K\alpha / Ll\varphi K_c = \eta_1$, учитывая, что $W = H_B - Z$, получим:

$$\frac{dZ}{dt} = \eta_1 (H_B - Z)Z. \quad (2)$$

Интегрируя уравнение (2) при начальных значениях $t=0$ и $Z=Z_0$, получим уравнение, описывающее закономерность изменения мощности иссушенной зоны почвенной толщи в процессе испарения:

$$Z = \frac{H_B}{1 + \frac{H_B - Z_0}{Z_0} e^{\eta_1 H_B t}}. \quad (3)$$

Относительная (логарифмическая скорость) снижения мощности иссушенного слоя почвенной толщи

$$\frac{dZ}{dt} \cdot \frac{1}{Z} = \frac{d \ln Z}{dt} = \eta_1 (H_B - Z) \quad (4)$$

линейно зависит от мощности иссушенной зоны, что подтверждается многочисленными экспериментальными данными.

Необходимо отметить, что при расчетах по зависимости (3) параметры Z , Z_0 , H_B могут соответствовать мощности слоя почвенной толщи или слою влаги, содержащейся в

соответствующем слое почвенной толщи. При этом порядок обработки экспериментальных данных не изменяется.

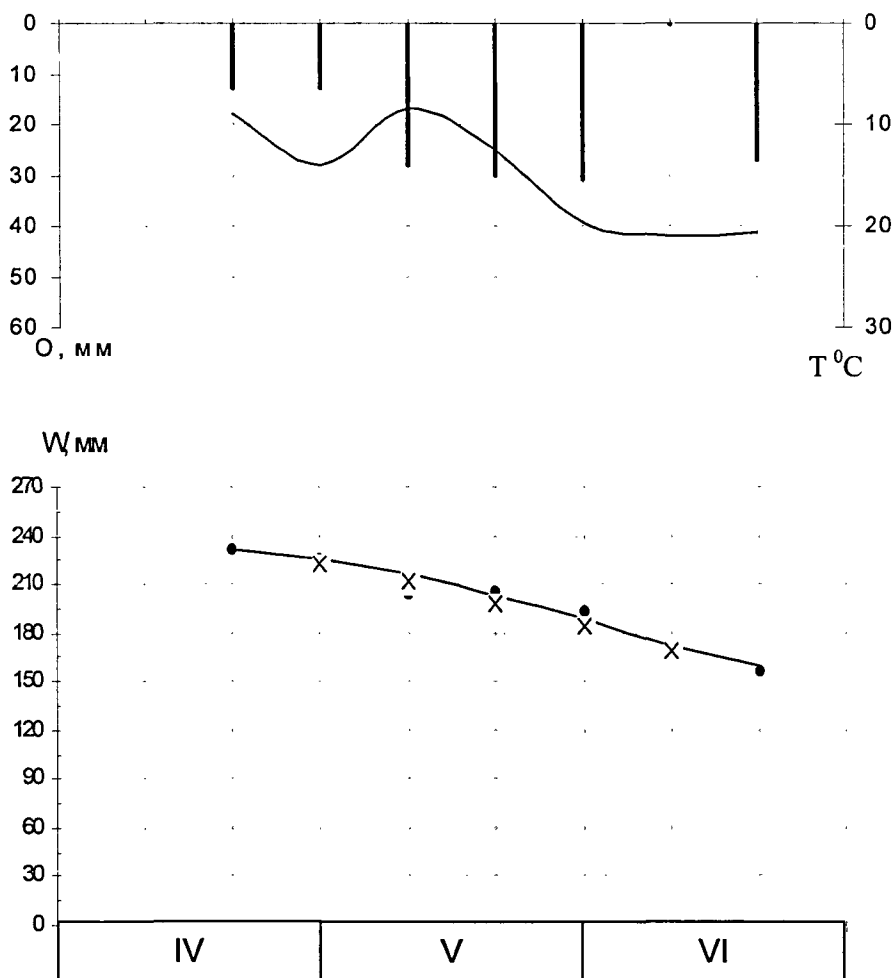


Рис. 2. Кривая снижения запасов влаги W мм и осадки O мм по данным метеостанции Брянск, 1995г., для слоя $h=1,0$ мм:

• — экспериментальные данные; x — теоретические значения.

Если представить экспериментальные данные в координатах: $\Psi = (Z_{i+\Delta t} - Z_i) / Z_{i+\Delta t}$; Z или $d \ln Z / dZ$; Z , то согласно уравнению (2) кинетические кривые преобразуются в прямую линию.

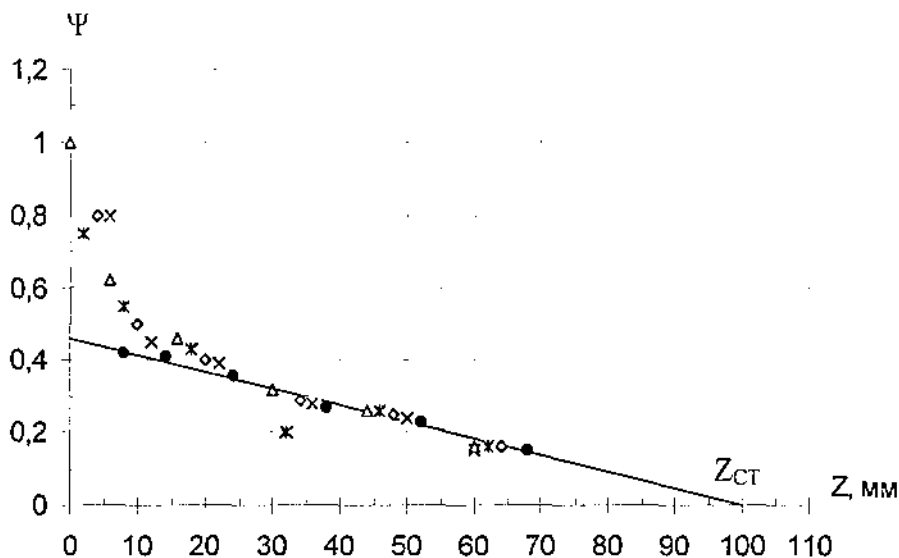


Рис. 3. Спряmlенный график кривой снижения запасов влаги в районе метеостанции Брянск, 1995, м при:
 Δ - $Z_0=0$ мм; ж - $Z_0=2$ мм; \diamond - $Z_0=4$ мм; x - $Z_0=6$ мм; \bullet - $Z_0=8$ мм

При этом на оси ординат отсекается отрезок $1 - e^{-\eta_1 H_B \Delta t}$; $\eta_1 H_B$, а на оси абсцисс отрезок $Z_{ст}$, соответствующий мощности иссушенной зоны при стабилизации процесса иссушения почвы как показано на рисунке 3. Положение оси 0-0, от которой отсчитываются величины Z , определяется значением Z_0 (недостаток влаги до значения H_B). Ось отсчета располагается выше максимального значения запасов влаги на момент окончания осадков или полива, то есть в начале периода иссушения, на величину Z_0 , как показано на рисунке 2.

Для нахождения Z_0 задаются сначала значением $Z_0=0$, а затем постепенно увеличивая его методом последовательных приближений, добиваются на графике линейной зависимости

$$\Psi = \frac{Z_{t+\Delta t} - Z_t}{Z_{t+\Delta t}} = f(Z_t). \quad (5)$$

То значение, при котором зависимость Ψ от Z будет линейна во всем диапазоне Z , является истинным, соответствующим почвенным условиям на рассматриваемом участке, и его можно использовать в дальнейших расчетах по формуле (3). Обычно линейаризация достигается в результате двух-трех приближений. Процесс линейаризации кинетической кривой снижения запасов влаги дан на рисунке 3.

Таким образом, для расчетов нужны наблюдения за изменениями запасов влаги в течение небольшого безосадочного периода времени (две-три недели), соответствующего началу процесса иссушения почвы, не обязательно определять отдельно наименьшую полевую влагоемкость, коэффициенты влагопроводности почв и грунтов и другие достаточно сложно и трудоемко определяемые показатели, необходимые для аналогичных расчетов по другим методикам. Сравнение экспериментальных данных за безосадочные периоды с расчетными показало, что параметр $\eta_1 N_b$ для рассматриваемого участка, не изменяется по годам, следовательно, однажды определенное его значение, может быть использовано при расчетах для длительного периода времени, что значительно облегчает прогнозирование изменений запасов влаги в почвах и грунтах.

Для отражения влияния затрудненного доступа воздуха в почвенную толщу и замедления скорости подачи влаги к испаряющей поверхности схему механизма процесса влагопереноса следует изменить следующим образом:

$$Z + W \Leftrightarrow 2Z.$$

Схема учитывает, что в процессе иссушения почвенной толщи в результате уменьшения скорости снижения запасов влаги под воздействием вакуума (затрудненного доступа воздуха в почвенные поры) замедляется нарастание мощности иссушенной зоны. Согласно схеме конечный результат процесса испарения влаги – иссушенная зона – снова принимает участие в процессе, но теперь в качестве исходного элемента.

Скорость снижения запасов влаги под воздействием вакуума описывается уравнением:

$$\frac{dZ}{dt} = \eta_1 (H_B - Z)Z - \eta_2 Z^2, \quad (6)$$

где η_1 - коэффициент, характеризующий скорость капиллярного подъема влаги при испарении, 1/сут. мм; η_2 - константа замедления скорости капиллярного подъема под влиянием ограниченного доступа воздуха в почвенную толщу, 1/сут. мм.

Из условия равновесия $dZ/dt=0$ можно найти соотношение между равновесной мощностью иссушенной зоны Z_∞ и полной мощностью насыщенной зоны:

$$Z_\infty = H_B \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2}. \quad (7)$$

Решение уравнения (6):

$$Z = \frac{Z_\infty}{1 + \frac{Z_\infty - Z_0}{Z_0} e^{-\eta_1 H_B t}}. \quad (8)$$

При линейаризации кинетических кривых на оси ординат отсекается отрезок $\eta_1 H_B$, а на оси абсцисс Z_∞ .

Время снижения запасов влаги согласно уравнению (8) определится из выражения:

$$\varepsilon = \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} t = \frac{1}{\eta_1 H_B} \ln \frac{Z_K \left(Z_0 - H_B \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} \right)}{Z_0 \left(Z_K - H_B \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2} \right)}, \quad (9)$$

где Z_K - мощность иссушенного слоя в конце периода.

Предельная зона иссушения, которая может быть достигнута при $t \rightarrow \infty$, равна $Z_\infty = H_B \cdot \varepsilon$,

где $\varepsilon = \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2}$ - коэффициент полноты иссушения.

В период дождей и поливов изменение запасов влаги обусловлено не только испарением и замедлением под влиянием вакуума, но и просачиванием дождевых вод в зону аэрации. После испарения влаги влажность почвы может соответствовать ВРК или ВЗ. Часть поступающей влаги уйдет на восполне

ние запасов влаги в данном сечении почвенного слоя, другая будет увеличивать запасы почвенной влаги до НВ в зоне W.

Впитывающаяся влага увеличит запасы влаги на величину:

$$\Delta y = \frac{K_0 \Delta t - W_s \Delta Z}{W_\delta - W_s}, \quad (10)$$

где K_0 - интенсивность впитывания осадков; W_s - влажность почвы, при соответствующей интенсивности впитывания, зависящей от интенсивности осадков; W_δ - влажность при насыщении почвы до НВ.

Скорость увеличения запасов влаги за счет впитывания пропорциональна достигнутой к этому времени мощности иссушенной зоны почвенной толщи Z:

$$\frac{dy}{dt} = DZ, \quad (11)$$

где $D = K_0 / W_\delta Z_{CT}$ - скоростной коэффициент процесса впитывания; Z_{CT} - мощность иссушенной зоны, при которой наступает стабилизация процесса иссушения.

Модель изменения запасов влаги под влиянием впитывания имеет вид:

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{\eta_1 H_B}{Z_\infty} (Z_\infty - Z)Z - DZ. \quad (12)$$

После интегрирования получаем:

$$Z = \frac{Z_{CT}}{1 + \frac{Z_{CT} - Z_0}{Z_0} e^{-(\eta_1 H_B - D)t}}, \quad (13)$$

где $Z_{CT} = Z_\infty \left(1 - \frac{D}{\eta_1 H_B} \right)$.

Так же как и для уравнения (8), после линеаризации экспериментальных кривых снижения запасов влаги, на оси ординат отсекается отрезок, равный $1 - e^{-(\eta_1 H_B - D)\Delta t}$, а на оси абсцисс - Z_{CT} , то есть получаются все параметры, необходимые для решения уравнения (13).

В этой же главе произведена проверка построенных математических моделей на экспериментальном материале, которая

хорошо подтверждает применимость кинетических моделей для описания процессов влагопереноса в почвенной толще.

Пятая глава "Практическое применение кинетических моделей" посвящена применению результатов исследований кинетических закономерностей для решения инженерных задач прогнозирования и регулирования влагозапасов в почве применительно к потребностям мелиорации и водного хозяйства.

Дана методика регулирования влажности почвы под посевами сельскохозяйственных культур на основе разработанных моделей, позволяющая значительно сократить оросительные нормы. Согласно ей с начала вегетационного периода в течение нескольких недель с интервалом 3 - 5 суток осуществляется наблюдение за влажностью почвы и осадками по стандартным методикам. Экспериментальные данные изменений запасов почвенной влаги представляются в координатах:

$$\frac{Z_{t+\Delta t} - Z_t}{Z_{t+\Delta t}} \text{ и } Z_t.$$

Линеаризация экспериментальных кинетических кривых изменения запасов влаги при наличии определенных навыков достигается путем двух-трех приближений. По найденным значениям H_B , $Z_{ст}$, Z_0 согласно зависимостям (8, 13) определяют степень иссушения почвы.

В этой же главе приведены примеры расчетов режимов влагообеспеченности для 1967, 1971, 1973 года с различными величинами обеспеченности по дефициту влажности (25%, 50%, 75% обеспеченности) для пос. Михайлов Рязанской области по предлагаемой методике на основе предложенных моделей. Сравнение результатов расчетов по предлагаемой методике и методике ВНИИГиМ при соблюдении благоприятного режима влажности почвы для растений, показали экономию поливной воды в размере 360, 920, 60 м³/га соответственно. Это позволит увеличить площадь орошения на 30% или использовать существующие пруды комплексно, сократить затраты денежных средств и материальных ресурсов на строительство водохозяйственных объектов, исключить негативное влияние перерасхода поливных вод на окружающую среду.

В основе существующих методов расчета режимов орошения лежит предположение, что поливные воды и испаряющаяся

влага не выходят за пределы активного для рассматриваемого периода вегетации слоя почвы. Рядом исследователей установлено, что испарение охватывает 2-3 м почвенной толщи одновременно, а не по слоям, и фактическая глубина промачивания оказывается больше расчетной.

В этой же главе приведены расчеты режимов влагообеспеченности с учетом просачивания поливных вод за пределы активного слоя почвы по ст. Алатырь Чувашской республики для 1972 года 97% обеспеченности по дефициту влажности. Согласно расчетам потери воды на просачивание составили порядка 10%. Использование предлагаемой методики расчетов режимов орошения на основе разработанных моделей позволило сократить расход поливных вод почти в три раза, даже с учетом потерь воды на просачивание.

Методика, основанная на разработанной модели, может быть использована также для определения оптимальных сроков проведения строительных работ, эффективность которых зависит от степени увлажнения почвы. В качестве примера приведены расчеты по прогнозированию сроков наступления оптимальной влажности для проведения планировочных работ.

Предложенная методика может быть использована для прогнозирования сроков подсушки осадков сточных вод на иловых площадках. Обезвоживание осадка сначала происходит в результате дренирования жидкой фазы через слой осадка, а затем продолжается в результате испарения.

Для проверки применимости кинетических моделей для процесса подсушки осадка в результате испарения были использованы экспериментальные данные, полученные на Правобережных очистных сооружениях в г. Душанбе при проведении научных исследований по подсушке осадков на иловых площадках, опубликованные в журнале «Водоснабжение» в №1 за 1995 год в статье Тагаева М. Ю. и Саидаминова И. «Глубокая подсушка осадка сточных вод на иловых площадках».

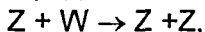
При сравнении сроков снижения влажности осадка, определенного по зависимости (8), получено хорошее совпадение результатов вычислений с экспериментальными данными, приведенными в выше названной статье, что позволяет рекомендовать разработанную методику для прогнозирования сроков подсушки осадка на иловых площадках.

ВЫВОДЫ.

1. Впервые влагоперенос в почвогрунтах описан дифференциальными уравнениями, хорошо согласующимися с уравнениями химической кинетики, уравнениями движения потоков грунтовых вод, отражающими факт определяющего влияния на интенсивность процесса иссушения почвенной толщи скорости подачи воды под действием менисковых сил по капиллярам к испаряющей поверхности.

2. Полученные модели, описывающие взаимодействие и превращения компонентов системы почва-растение-атмосфера являются новым видом моделей теории влагопереноса в почвогрунтах.

3. Построенные модели опираются на кинетические схемы, отличительными особенностями которых являются разделение процесса на ряд этапов или состояний:



Подобными схемами описывается взаимодействие веществ в химических реакциях и в микробиологическом синтезе. Таким образом, определяются компоненты системы и характер их взаимодействий и превращений, реализуется системный подход, в отличие от широко распространенных в теории влагопереноса в почвогрунтах диффузионных уравнений.

4. Получена система дифференциальных уравнений, описывающая уменьшение скорости прироста мощности иссушенной зоны почвенной толщи и замедления снижения мощности насыщенной зоны почвенной толщи за счет затрудненного доступа воздуха в почвенные поры (вакуума).

5. Построена модель изменения запасов влаги под влиянием впитывания с поверхности осадочных или поливных вод и испарения.

6. Эффективность решения вопросов мелиоративной практики с помощью предлагаемых моделей обуславливается следующим:

а) математические модели изменения запасов влаги в почвогрунтах описывают процесс влагопереноса в системе почва - растение - атмосфера как единый процесс;

б) уравнения математической модели содержат минимальное число экспериментально по единой методике и достаточно точно определяемых констант и параметров, каждая из которых имеет вполне определенный физический смысл;

в) уравнения математической модели изменения запасов влаги в почвогрунтах, характеризующие описываемые процессы системы, взаимосвязаны через общие параметры;

г) математические модели обосновывают пути оптимизации управления и регулирования описываемых процессов.

7. На основе моделей разработаны: рекомендации по прогнозу запасов влаги в почвогрунтах, определению оптимальных сроков проведения строительных работ, зависящих от влажности почвы, механизированной обработки почв; методика регулирования влагозапасов почв, обеспечивающая рациональное использование водных ресурсов, позволяющая избежать длительных и трудоемких наблюдений за изменением влажности почвы на мелиорируемых землях.

8. Дальнейшие исследования должны идти в направлении построения кинетических моделей просачивания дождевых и поливных вод за пределы активного слоя почвы.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. К построению модели движения жидкости в ненасыщенной почве при испарении // Материалы межвузовской научно-практической конференции: Достижения науки и передовой опыт в производство и учебно-воспитательный процесс. Брянск.1995, с.57-58(в соавторстве).

2. Влияние аэрации на испарение продуктивной влаги // Материалы научно-практической конференции: Проблемы природообустройства и экологической безопасности. Брянск. 1997, с.19-20 (в соавторстве).

3. Исследование в натуральных условиях влияния уплотнения почвенных слоев на аэрацию почвы и движение почвенной влаги в ходе испарения // Материалы XI межвузовской научно-практической конференции: Проблемы природообустройства и экологической безопасности. Брянск. 1998, с.19-20.

4. Математическая модель испарения почвенной влаги // Материалы XI межвузовской научно-практической конференции:

Проблемы природообустройства и экологической безопасности. Брянск, 1998, с.28-31 (в соавторстве).

5. Исследование процесса транспирации влаги из сообщающихся капилляров // Материалы научно-практической конференции: Проблемы природообустройства и экологической безопасности. Брянск, 1998, с. 71-72 (в соавторстве).

6. Моделирование процесса испарения продуктивной влаги // Сб. научн. тр.: Пути снижения травматизма в агропромышленном производстве России. Санкт-Петербург, 1998, с. 70-72 (в соавторстве).

7. Рекомендации по производству планировочных работ при рекультивации земель / д.т.н. В.Ф. Василенков, Е.А. Мельникова. Брянск, 1998, 44 с.

8. Режим орошения с учетом просачивания и испарения по лоям почвы // Материалы международной научно-практической конференции: Проблемы мелиорации и водного хозяйства на современном этапе. г. Горки, 1999, с.127-129.

9. Водосберегающий эксплуатационный режим орошения // Материалы международной научно-практической конференции: Актуальные проблемы экологии на рубеже третьего тысячелетия. Брянск, 1999, с.657-659.

10. Рекомендации по расчетам регулирования влажности почвы при водосберегающей технологии поливов. Брянск, 1999, 8с.

11. Применение кинетических уравнений для прогнозирования сроков подсушки осадков сточных вод на иловых площадках. Материалы международной научно-практической конференции: Аграрные технологии и экология. Информационные технологии в АПК-проблемы, поиски путей решения. Брянск, 2000, 3 С. д.т.н. Алиев Т.А., Мельникова Е.А.)

Подписано в печать 15.05.2000 г. Усл.п.л.1 Тираж 100 экз.

Издательство Брянской Государственной сельскохозяйственной академии.