

УДК 631.559:631.165

Е. В. Федотова

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

ВОЗМОЖНОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

В данной статье рассмотрены возможности программного комплекса, позволяющего имитировать процесс функционирования внутрихозяйственной оросительной системы и динамику формирования урожая сельскохозяйственных культур в зависимости от агрометеорологических и производственных факторов. Показана схема оптимального распределения поливной воды с использованием производственных функций зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от оросительной нормы.

Ключевые слова: виртуальная модель, имитационная модель, цифровизация производства, оросительная система, внутрихозяйственная оросительная система, орошаемое земледелие.

E. V. Fedotova

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

OPPORTUNITIES OF THE IRRIGATION SYSTEM VIRTUAL MODEL FOR INCREASING THE WATER USE EFFICIENCY

The opportunities of the software package which allow imitating the operation process of the on-farm irrigation system and the dynamics of crop formation, depending on agrometeorological and production factors are considered. The scheme of the optimal distribution of irrigation water using production functions of crop yields dependence on the irrigation rate is shown.

Key words: virtual model, simulation model, digitalization of production, irrigation system, on-farm irrigation system, irrigated farming.

В настоящее время использование информационных технологий в сельском хозяйстве ограничивается применением компьютеров и программных средств в основном только для управления финансами и отслеживания коммерческих сделок. Тем не менее фермеры начали использовать цифровые технологии для мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур, простые расчетные методы для назначения поливов и диспетчерских служб эксплуатации межхозяйственной части оросительной системы. И только самые передовые и технически оснащенные хозяйства используют цифровые технологии для управления агротехнологиями, контролируя полный цикл производства.

Интенсивное внедрение информационных систем в сельское хозяйство обещает превратить отрасль сельскохозяйственного производства в высокотехнологичный бизнес, в первую очередь за счет роста производительности труда и перманентного контроля расходов.

Наблюдающийся в последние годы подъем производства в аграрных отраслях отечественной экономики способствовал восстановлению эксплуатационных показателей гидромелиоративных систем и росту объемов производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях. Нарастающий дефицит водных ресурсов юга европейской части РФ, усугубляющийся аномальными климатическими явлениями, создает ощутимые риски водопользователям в сфере сельхозпроизводства. Кроме того, требования Минприроды к защите водных объектов от загрязнений биогенными веществами,

поступающими в виде сосредоточенного дренажного и диффузионного стока с орошаемых полей, накладывают ограничения на применение существующих экологически небезопасных технологий, обусловленных низкой культурой водопользования. В этой связи отмечается тренд востребованности современных методов планирования и рационального распределения водных ресурсов с использованием региональных гидрологических моделей водосборов, речных систем, гидроузлов и гидромелиоративных систем. Заметный интерес проявляется к математическим моделям водного обмена агроландшафтов с детализацией описания процессов, вплоть до отдельных полей интенсивного земледелия, с целью их применения для решения комплексных задач использования и охраны водных ресурсов.

Информационная модель внутрихозяйственной оросительной системы, разработанная во Всероссийском НИИ гидротехники и мелиорации, была реализована в виде программного комплекса в среде Borland C++ Professional и апробирована на задачах управления орошением на системах открытого и закрытого типа в Узбекистане и Омской области. Опыт применения виртуальной модели внутрихозяйственной оросительной системы и даже ее отдельных подсистем показывает возможность автоматизации эксплуатационных работ и оперативного управления производством поливных работ, при этом обеспечивается своевременное назначение поливов и контролируемый режим работы поливной техники и насосной станции. Модель оросительной системы использовалась в течение всего вегетационного периода для получения технических справок по материалам проектной документации в случаях принятия экстренных мер для предотвращения производственных потерь, вызванных авариями и ремонтными работами. Кроме того, делался прогноз урожайности сельскохозяйственных культур на первых этапах вегетации с целью коррекции структуры производства кормов, выполнялся мониторинг использования трудовых и технических ресурсов службы эксплуатации оросительной системы, контроль планов производства продукции на орошаемых землях.

Внутрихозяйственные оросительные системы закрытого типа отличаются большими капиталовложениями при строительстве, значительными эксплуатационными затратами и сравнительно сложной сезонной технологией эксплуатации. Вместе с тем высокая техническая оснащенность обеспечивает высокую производительность поливных работ, позволяет внедрять технические и информационные средства автоматизации подачи воды на орошаемые участки, в т. ч. и со сложным рельефом, контролировать расход поливной воды каждой дождевальными машиной, строго выполнять рекомендуемые режимы орошения. Использование информационных технологий при управлении функционированием таких систем значительно упрощает решение многих эксплуатационных задач и повышает его точность, в т. ч. позволяет оптимизировать режимы орошения, тем самым повышает эффективность орошаемого земледелия и экологическую культуру водопользования [1].

Пространственный образ размещения элементов оросительной сети и орошаемых контуров формируется в модели на основе геоинформационной базы данных, обеспечивающей визуализацию всех элементов оросительной сети, включая орошаемые поля (культуры), распределительную сеть, поливную технику, наблюдательные скважины, метеорологические посты. Она использует картографическую схему орошаемых земель хозяйства с отображением на ней ориентированного графа оросительной сети и привязкой к нему парка дождевальных машин и насосных станций. На рисунке 1 представлена схема размещения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях по поливным участкам, отображаемая монитором.

Информационная база модели оросительной системы содержит в виде паспортов характеристики полей (залегающих почв), детальные данные о конструкции дождевальных машин, длине, диаметре и материале трубопроводов, конструкции и параметрах дренажной сети, размещении постов контроля, составе и глубине залегания грунтовых вод и др.

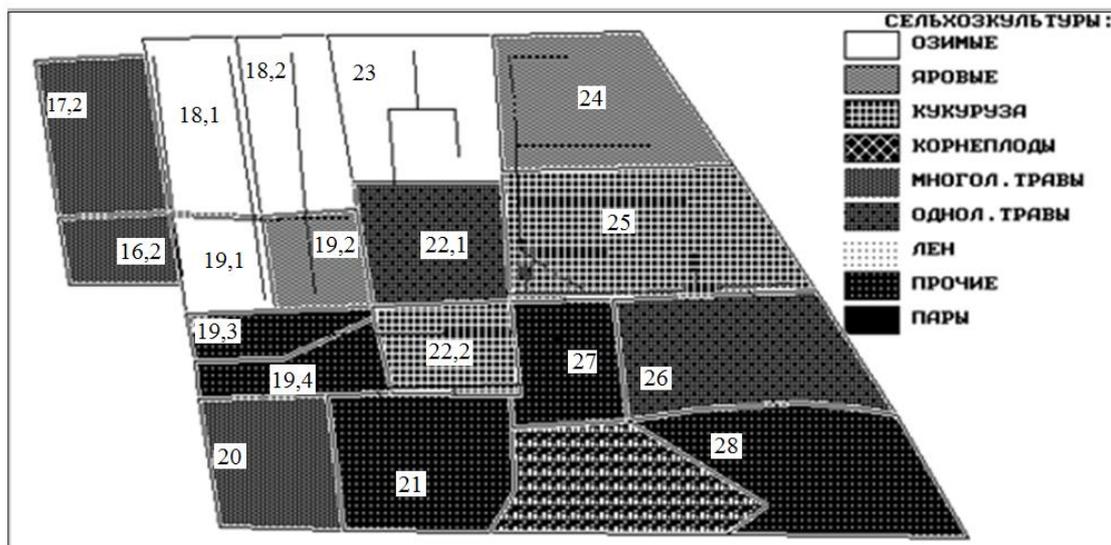


Рисунок 1 – Схема размещения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях по поливным участкам

Имитационная модель внутрихозяйственной оросительной системы включает гидравлическую модель оросительной сети, динамическую модель агроценоза различных сельскохозяйственных культур, мониторинг качества поливной и грунтовых вод и блок автоматизированного оперативного планирования поливов по агрометеопараметрам.

Гидравлическая модель оросительной системы направлена на решение задач по оптимизации организационно-технологических параметров выполнения поливных работ и эффективного использования технических средств закрытой оросительной системы, включая насосную станцию, распределительную сеть и дождевальную технику.

С ее помощью можно произвести расчет сопряжения напорно-расходных характеристик (рисунок 2) насосной станции и распределительной сети, рассчитать напор воды и давление на гидранте каждой дождевальной машины при любой комбинации подключения машин. Для определения технологических параметров работы каждой дождевальной машины в течение рабочей смены производится расчет напора и расхода воды, интенсивности дождя, продолжительности полива на позиции или скорости перемещения машины, времени полива всего участка и затрат труда на обслуживание машины.



Рисунок 2 – Сопряжение напорно-расходных характеристик оросительной сети и насосной станции

Динамические модели агроценозов различных сельскохозяйственных культур, входящие в программный комплекс системы, служат для оптимизации режимов орошения и отображения основных процессов роста и водообмена под влиянием агрометеословий. В них учитываются:

- динамика продукционного процесса, рост и развитие растений, накопление биомассы, формирование урожая;
- процессы энерго- и массообмена растительного покрова (поглощение солнечной радиации, эвапорация, транспирация, поглощение почвенной влаги и солей корнями, влагообмен между грунтовыми водами и зоной аэрации, поверхностный сток);
- эколого-физиологические процессы взаимодействия растений с внешней средой (фенология, структура посева, баланс почвенной влаги и солей, адаптация растений).

Значительная информационная роль принадлежит моделям агроценозов в задаче водораспределения при сезонном планировании. Способность моделей формировать зависимость урожайности от погодных условий и режима орошения позволяет с их помощью получать производственные функции для распределения выделенных водных ресурсов по полям и культурам с учетом ежегодной структуры посевных площадей, запасов полевой влаги, почвенного плодородия и прогнозируемых погодных условий в предстоящий вегетационный период [1, 2].

Если водораспределение на межхозяйственной оросительной системе выполняется на основании поданных хозяйствами-водопользователями заявок на объемы оросительной воды, то внутрихозяйственное распределение формируется по производственным (плановым) показателям и эколого-экономическим критериям. Для использования этих критериев формулируется оптимизационная задача, решение которой строится на знании производственной функции – зависимости искомого результата от количества использованного для производства ресурса. На практике такие функции определяются по результатам анализа многолетней деятельности, позволяющей количественно сопоставить затраты и результат по каждому отдельному виду использования ресурса, в данном случае затраты воды на орошение или иного вида водопользование.

В динамичной производственной ситуации, на начальных этапах работы предприятия такие функции проще получить при помощи имитационной модели по данным метеорологической, почвенной и производственной информации об урожайности и структуре посевных площадей. В блоке автоматизированного оперативного планирования поливов производственная функция рассчитывается как усредненный результат по совокупности зависимостей урожайности сельскохозяйственной культуры от оросительной нормы (рисунок 3). Производственная функция предполагает оптимальное использование ресурса и строится по значениям урожайности при условии близкого к оптимальному или как минимум рационального режима орошения. Расчет объема планируемой поливной воды на орошение культуры важен для последующего планирования поливных работ службой эксплуатации, поскольку предполагает возможность расчета планового числа поливов поля, занятого конкретной культурой, за вегетационный период и формирование укомплектованного графика поливов.

Расчет планового оптимального числа поливов по культурам и полям за вегетационный период проводится на основе величин оросительных норм и имеющихся ограничений на поливные нормы по техническим характеристикам дождевальных машин, водно-физическим свойствам почв и состоянию агроценоза.

Оптимальные оросительные нормы как результат вододеления по культурам (i) и полям определяются исходя из условия максимизации дохода от урожая всех выращиваемых на орошаемых землях культур [2]:

$$\begin{cases} m_1 S_1 + m_2 S_2 + \dots + m_i S_i = Q \\ y_1 S_1 + y_2 S_2 + \dots + y_i S_i \Rightarrow \max \end{cases}$$

где m_i – допустимые оросительные нормы;

S_i – площадь поля, на котором возделывается i -я культура;

Q – количество оросительной воды, выделенное на хозяйство;

y_i – урожайность i -й культуры.

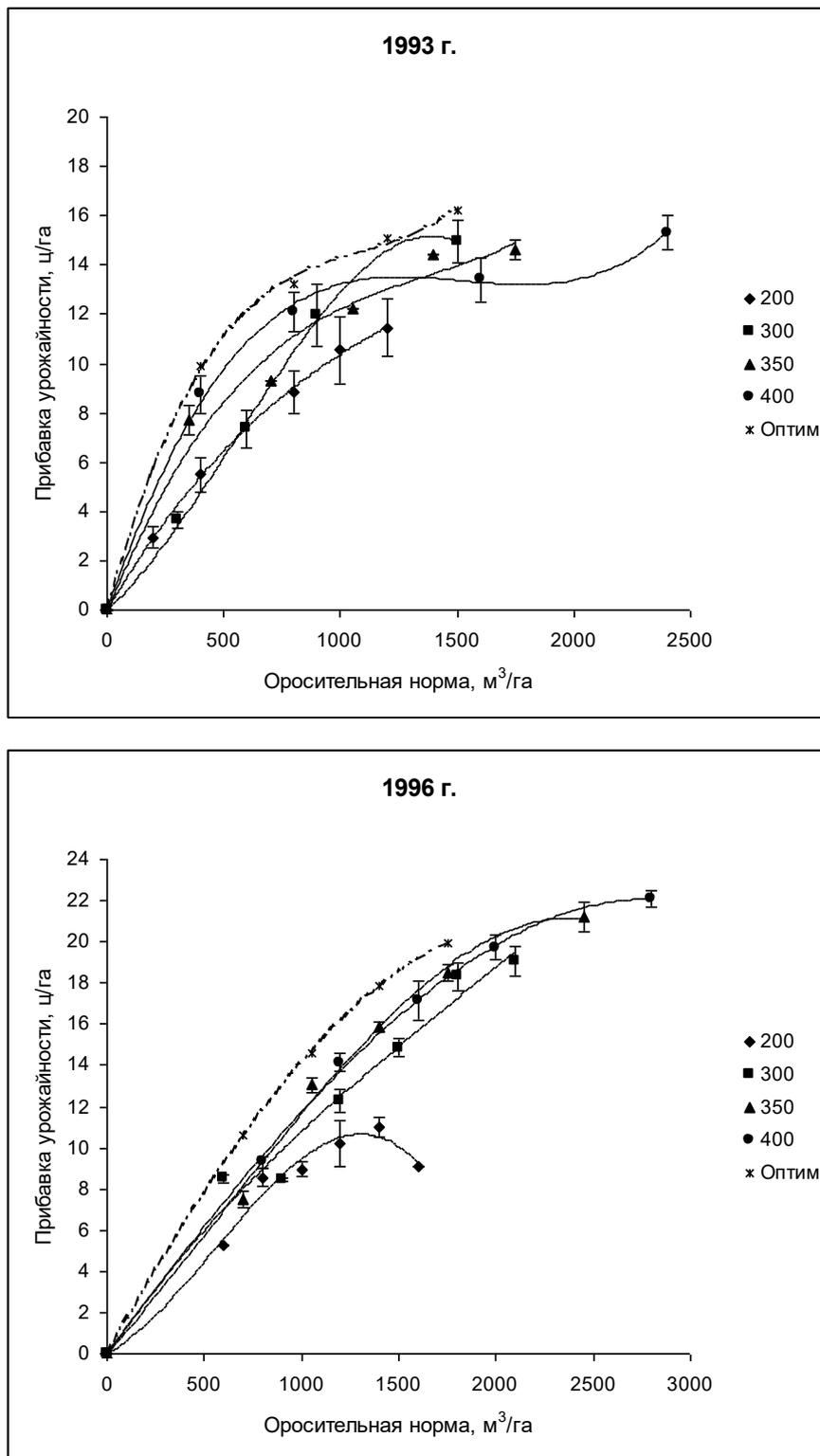


Рисунок 3 – Аппроксимирующие функции зависимости прибавки урожайности яровой пшеницы от поливной и оросительной нормы по агрометеоусловиям Саратовской области, 1993–1994 гг. (95% доверительный интервал)

Данная постановка оптимизационной задачи допустима при условии однородности почвенных характеристик полей.

По данным аппроксимирующих функций посредством осреднения получены производственные функции, например для культур, возделываемых в фермерском хозяйстве Приволжской оросительной системы (рисунок 4).

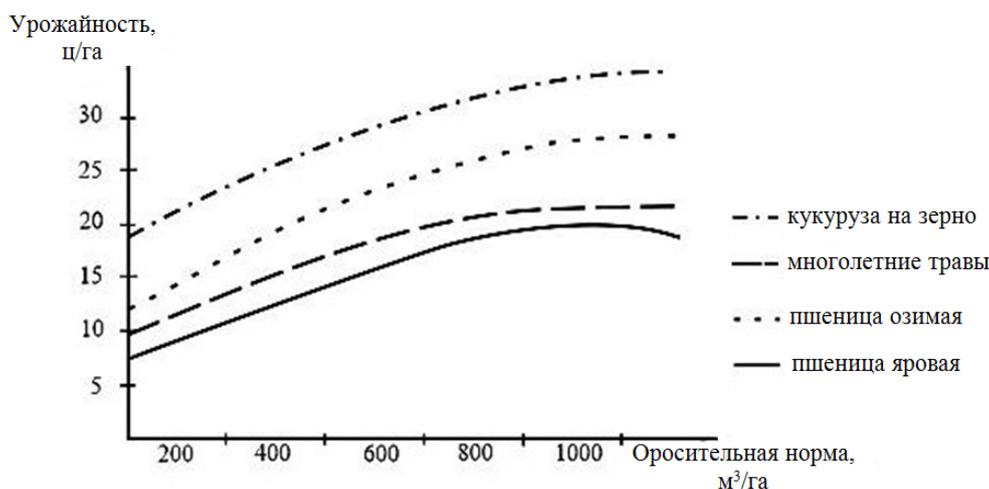


Рисунок 4 – Пример производственных функций для сельскохозяйственных культур, возделываемых в Саратовской области при орошении

Для определения объемов воды, планируемых на орошение каждой сельскохозяйственной культуры, при которых совокупный доход от орошения будет максимальным, необходимо выполнение условия равенства приращения стоимости каждого вида продукции на единицу затраченной на полив воды. Для этого для каждой орошаемой культуры построим графики приращения дохода $\Delta d_i(m_i)$ от планируемого сбора урожая в зависимости от поливной нормы (рисунок 5) (производная от функции за вычетом затрат на орошение) и найдем оптимальный уровень приращения, при котором сумма затрат воды на полив каждой культуры будет меньше выделенного объема орошения на весь период вегетации или равна ему:

$$\begin{cases} D \Rightarrow \max, \text{ если } \sum_{i=1}^k \Delta d_i(m_i) = k \Delta d_{\text{опт}} \\ m_{1\text{опт}} S_1 + m_{2\text{опт}} S_2 + \dots + m_{i\text{опт}} S_i \leq Q \\ D_{\max} = \sum_{i=1}^k \Delta d_{\text{опт}} (m_{1\text{опт}} S_1 + m_{2\text{опт}} S_2 + \dots + m_{i\text{опт}} S_i) \end{cases}$$

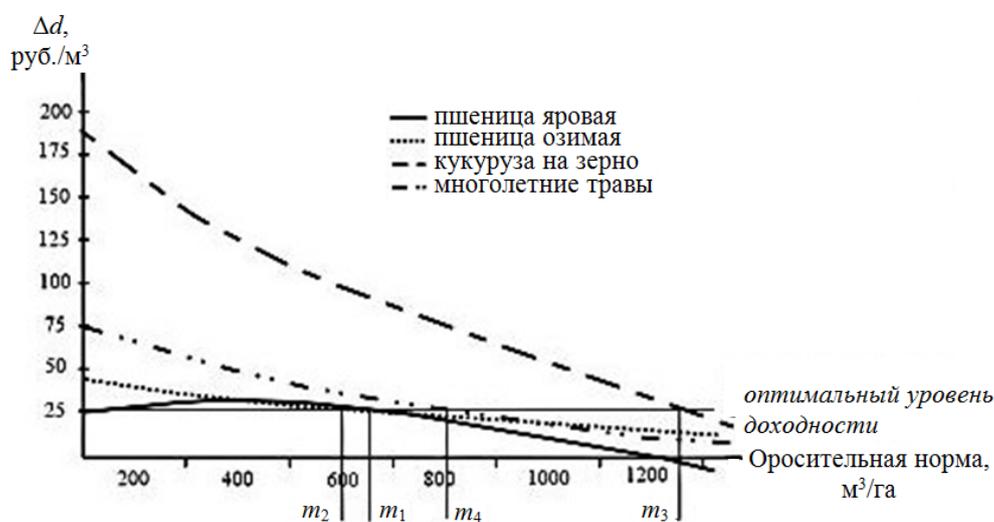


Рисунок 5 – Зависимости приращения дохода от оросительной нормы

Следовательно, зная количество выделенной оросительной воды на хозяйство, можно определить оптимальные оросительные нормы и планируемый доход от урожая по всем сельскохозяйственным культурам, выращиваемым на полях системы.

Имитационная модель оросительной системы обладает рядом несомненных преимуществ, которые обеспечивают возможность ее универсального применения, обеспечивая контроль качества функционирования основных компонентов оросительной системы (прогнозируемой и фактической продуктивности культур, гидравлических характеристик оросительной сети) на новом уровне информационного обеспечения службы эксплуатации оросительной системы. Предложенная информационная технология при оперативном управлении производством поливных работ основана на использовании имитационной модели оросительной системы, включающей динамические модели орошаемых агроценозов, гидравлическую модель сети и алгоритмы оптимизации распределения ресурсов воды, а также оптимизации сетевого графика включения дождевальных машин, укомплектованного по гидромодулю и трудовым ресурсам. Выполнение системой мониторинговых, управленческих и контрольных функций способствует повышению эффективности эксплуатации гидромелиоративной системы, экономии оросительной воды, снижению непроизводительных затрат труда, созданию условий для роста урожайности.

Список использованных источников

1 Галямин, Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении / Е. П. Галямин. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 272 с.

2 Головатый, В. Г. Модели управления продуктивностью мелиорируемых агроценозов: учеб. пособие / В. Г. Головатый, Ю. П. Добрачев, И. Ф. Юрченко. – М.: РАСХН, 2001. – 166 с.

УДК 631.6.02

В. И. Кременской, А. М. Джапарова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

ОЧИЩЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ КАНАЛИЗАЦИОННО-ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СИМФЕРОПОЛЯ – РЕЗЕРВ ПОЛИВНОЙ ВОДЫ В КРЫМУ

Крымский полуостров характеризуется дефицитом пресной воды для водоснабжения населения и орошения сельскохозяйственных культур. Огромным резервом поливной воды являются очищенные сточные воды канализационно-очистных сооружений (КОС) Крыма. Симферопольские КОС являются самыми крупными в Крымском регионе, на их долю приходится одна третья часть от всех сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водные объекты. Качественный состав очищенных сточных вод, по данным ГУП РК «Вода Крыма», свидетельствует о недостаточной эффективности очистки, имеются превышения нормативно допустимых показателей. Ежемесячный объем очищенных стоков составляет 3,0–3,9 млн м³, этим количеством воды можно обеспечить полив 8–10 тыс. га. Проведенные в 2017–2018 гг. исследования показали, что очищенные сточные воды Симферопольских КОС в целом можно без ограничений использовать для целей орошения, так как они не оказывают влияния на общую мелиоративную обстановку на орошаемом участке.

Ключевые слова: очистные сооружения, сточные воды, степень очистки, загрязняющие вещества, орошение, качественный и количественный состав, дефицит воды.

V. I. Kremenskoy, A. M. Dzhaparova

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation