

УДК 633.1:911.2

Доктор техн. наук
Доктор техн. наукЖ.С. Мустафаев¹
А.Т. Козыкеева¹
П.Е. Есенгельдиева²
С.З. Жигитова²**ПРИКЛАДНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В
ГИДРОАГРОЛАНДШАФТНЫХ СИСТЕМАХ**

Ключевые слова: оценка, ресурсы, почва, гидроагроландшафт, регулирование, управление, режим, продуктивность, плодородие

Разработана модель оценки агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных культур для управления и регулирования основных факторов среды в гидроагроландшафтных системах. Разработанная на основе ландшафтно-экологического подхода, структурно-логическая модель может использоваться для конструирования высокопродуктивных гидроагроландшафтов, для оптимизации ресурсного потенциала природной системы в области природопользования и природообустройства. Это позволит рационально использовать ресурсный потенциал природной системы и обеспечить экологическую устойчивость в условиях антропогенной деятельности человека.

Введение. Цель исследования – разработка модели для оценки агроклиматических ресурсов сельскохозяйственных культур с целью управления и регулирования основных факторов среды в гидроагроландшафтных системах.

В процессе взаимодействия с природой человечество постоянно решает задачу жизнеобеспечения – производства продуктов питания. Стремление использовать силу воды и энергию почвы на протяжении тысячелетний служило мощным стимулом экономического и духовного развития человечества, в результате чего человек познал законы формирования продуктивности растительного покрова, приобрел навыки моделирования этого природного процесса.

¹ Казахский Национальный аграрный университет, г. Алматы,

² Таразский государственный университет им. Дулати, г. Тараз, Казахстан

Одним из фундаментальных направлений регулирования основных факторов среды обитания сельскохозяйственных культур является несоответствие благоприятных условий окружающей среды. Оно носит стохастический характер и обеспечивает нормальный рост и развитие растений в экологических системах [12, 11, 2].

Анализ последних исследований и публикаций по теме. Математическое моделирование функционирования продуктивности сельскохозяйственных культур производится на основе оценки агроклиматических ресурсов ландшафтов. Существует большое количество работ по исследуемой теме, среди которых можно выделить работы Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росса Ю.К [4], Галямина Е.П. [6], Нерпина С.В., Чудновского А.Ф. [16], Сакуна В.А. [21], Сиротенко О.Д. [22], Полевого А.Н. [19], Шатилова И.С., Чудновского А.Ф. [25], Ацци Дж. [3], Мустафаева Ж.С. [9], Шабанова В.В. [24] и др.

Гидроагроландшафтные системы отличаются от агроландшафтных тем, что они специализируются на сельском хозяйстве. Во время мелиорации сельскохозяйственных земель в активный биогеохимический круговорот поступают огромные массы химических соединений в процессе водоподдачи и испарения влаги из слоя почвы. Их дальнейшая судьба определяется параметрами среды, в которую они поступают, т.е. в зависимости от ландшафтно-геохимических условий орошаемых земель, происходит рассеяние или локализация веществ в природных и техногенных системах. Результатом такой локализации часто является аккумуляция солей.

Таким образом, в настоящее время еще не разработана модель формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в гидроагроландшафтных системах, которая учитывала бы их специфические особенности.

Методика исследования. В основу научного исследования положена модель природы и природного процесса, которая широко применяется в моделировании продуктивности сельскохозяйственных культур и функционирования агроландшафтов и мелиоративных систем [12, 11, 2].

Результаты исследования. Базовая модель формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в гидроагроландшафтных системах имеет блочную структуру, состоящую из шести блоков: агроклиматические ресурсы, регулирование и управление водного, солевого, питательного режимов, почвообразовательных процессов и формирование продуктивности [13].

Блок «агроклиматические ресурсы гидроагроландшафтных систем» представлен следующими показателями [15]:

– теплообеспеченность, характеризуется соотношением биологически активных среднесуточных температур воздуха к биологически активным температурам, необходимым для вызревания сельскохозяйственных культур, т.е.:

$$K_{ti} = \frac{\sum t > 10 \text{ } ^\circ\text{C}}{0,5(\sum t_{\max} + \sum t_{\min})},$$

где K_{ti} – коэффициент, характеризующий теплообеспеченность сельскохозяйственных культур; $\sum t_{\min}$ – минимальная величина биологически активных среднесуточных температур воздуха, необходимая для вызревания урожая, $^\circ\text{C}$; $\sum t_{\max}$ – максимальная величина биологически активных среднесуточных температур воздуха, необходимая для вызревания урожая, $^\circ\text{C}$;

– светообеспеченность, характеризуется соотношением среднегодовой фотосинтетически активной радиации (ФАР) к величине фотосинтетически активной радиации, необходимой для вызревания сельскохозяйственных культур, т.е.:

$$K_{Ri} = \frac{R}{0,5(\sum R_{\max} + R_{\min})},$$

где K_{Ri} – коэффициент, характеризующий светообеспеченность сельскохозяйственных культур; R_{\min} – минимальная величина фотосинтетически активной радиации, необходимая для вызревания урожая, $^\circ\text{C}$; R_{\max} – максимальная величина фотосинтетически активной радиации, необходимая для вызревания урожая, $^\circ\text{C}$;

– влагообеспеченность, характеризуется соотношением количества атмосферных осадков к испаряемости, т.е.:

$$K_{bi} = \frac{\Delta W + O_{cb}}{\sum_{i=1}^n E_{oi}},$$

где K_{bi} – коэффициент, характеризующий естественную влагообеспеченность; ΔW – продуктивный запас влаги, накопленный в почвенном слое за счет атмосферных осадков (O_{cx}) холодного времени года, мм; O_{cb} – количество атмосферных осадков за биологически активный период года, мм; n – количество месяцев в биологически активном периоде года; E_{oi} – испаряемость i -того месяца, которая определяется по формуле Н.Н. Иванова:

$$E_{oi} = 0,0018 \cdot (t + 25)^2 (100 - a),$$

где t – среднемесячная температура воздуха, °С; a – среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

Блок «регулирование водного режима почвы гидроаглоландшафтов» представляется уравнением водного баланса:

$$W_{ki} = W_{ni} + O_{cb} + O_p \pm g - E_{oi},$$

где W_{ki} – запас влаги в почвенном слое в конце вегетационного периода, мм; W_{ni} – запас влаги в почвенном слое в начале вегетационного периода, мм; g – влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм; O_p – оросительная норма, мм.

При этом суммарное водопотребление (E_{oi}) сельскохозяйственных культур гидроаглоландшафтных систем состоит из транспирации (T) и физического испарения (I) с поверхности почвы, которое зависит от биологических особенностей культуры, термического режима в приземном слое атмосферы и направленности почвообразовательного процесса. Поэтому прогнозирование водопотребности сельскохозяйственных культур необходимо проводить в трех уровнях:

1) Биоклиматические водопотребности, которые учитывают биологические особенности и энергетические ресурсы гидроаглоландшафтных систем, могут быть определены уравнениями Н.В. Данильченко (1) [7] и Ж.С. Мустафаева (2) [14]:

$$E_{\sigma} = K_0 \cdot K_{\sigma} \cdot E_{oi}, \quad (1)$$

где K_0 – микроклиматический коэффициент; K_{σ} – биологический коэффициент;

$$E_{\sigma} = K_0 \cdot K_{\sigma} \cdot K_n \cdot E_{oi}, \quad (2)$$

где K_n – уровень продуктивности сельскохозяйственных культур.

2) Почвенно-экологические водопотребности, которые учитывают направленность и интенсивность почвообразовательного процесса гидроаглоландшафтных систем. Они определяются с помощью уравнения теплового баланса, в первом приближении [14]:

$$E_{n\sigma} = R / \bar{R} \cdot L,$$

где R – радиационный баланс поверхности почвы, кДж/см²; \bar{R} – гидротермический коэффициент («индекс сухости»); L – скрытая теплота парообразования (кДж/см² год на 1 мм слоя воды).

3) Транспирационные способности сельскохозяйственных культур (T), которые определяются по формулам [14]:

$$T = K_{\bar{o}} \cdot K_o \cdot E_o [1 - \exp(-0.74 \cdot DC)] \cdot \beta_{opt};$$

$$T = (R / \bar{R} \cdot L) \cdot [1 - \exp(-0.74 \cdot DC)] \cdot \beta_{opt},$$

где DC – относительная площадь листьев; β_{opt} – влажность корнеобитаемого слоя почвы.

При этом биологически оптимальная оросительная норма ($O_{p\bar{o}}$), экологическая норма водопотребности (O_{pnn}) и дефицит транспирационной способности сельскохозяйственных культур (ΔT) рассчитываются по уравнению водного баланса, которое в упрощенном виде имеет следующий вид:

$$O_{p\bar{o}} = E_{\bar{o}} - \Delta W - O_{cb} \pm g; O_{pnn} = E_{\bar{o}} - \Delta W - O_{cb} \pm g;$$

$$\Delta T = T - \Delta W - O_{cb} \pm g.$$

Основная задача управления и регулирования водного режима почвы гидроаглоландшафтов в соответствии с требованиями ограниченного воздействия производства на окружающую природную среду является минимизация этого воздействия. В связи с этим должны обеспечиваться следующие сценарии развития «существующий → реалистический → потимистический», т.е.: $O_{p\bar{o}} - O_{pнэ} \rightarrow \min$, $O_{pнэ} - T \rightarrow \min$.

Переход от существующего к реалистическому сценарию управления и регулирования водного режима почвы осуществляется на основе оптимизации структуры и состава гидроаглоландшафтных систем, т.е.:

$\sum_{i=1}^n O_{p\bar{o}i} \leq O_{pнэ}$; $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,0$, а оптимический сценарий управления и регулирования водного режима почвы осуществляется совершенствованием техники и технологической схемы полива ($O_{pнэ} \rightarrow T$).

При этом влагообеспеченность гидроаглоландшафтов (F_E) характеризуется отношением суммарного водопотребления (E_i) к оптимальному суммарному водопотреблению (E_{opt}) сельскохозяйственных культур: $F_E = (E_i / E_{opt})$, тогда функция влияния влагообеспеченности (FW) имеет следующий вид [10]: $FW = 1 - (1 - F_E)^2$.

Блок «регулирование солевого режима почвы гидроаглоландшафтов» представляется уравнениями солевого баланса в общем виде (2, 4, 6) и во временном масштабе (16, 21) [10]:

$$S_{дон}^{верх} - S_{дон}^{ниж} = \Delta S; \quad (3)$$

$$S_k = S_n + C_0 \cdot O_p = S_n + S_{op}; \quad (4)$$

$$C_0 \cdot O_p < C_n \cdot g, \quad (5)$$

$$S_{дон}^{верх} = \sum t \cdot \Delta S + S_{дон}^{ниж}; \quad \left| \sum t \cdot \Delta S_c \right| = \left| \sum t \cdot \Delta S_p \right|, \quad (6, 7)$$

где S_n и S_k – содержание солей в почве в начале и в конце расчетного периода, т/га; C_0 – минерализация оросительных вод, г/л; O_p – оросительная норма, м³/га; C_n – концентрация почвенного раствора, г/л; g – влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, м³/га; $\sum t$ – продолжительность орошения сточными или речными водами, год; ΔS_c – величина ежегодного накопления солей в почве при поливе сточными водами, т/га; ΔS_p – величина ежегодного опреснения почвы при поливе речными водами, т/га; $S_{дон}^{верх}$ – величина верхнего предельно допустимого уровня засоления почвы, т/га; $S_{дон}^{ниж}$ – нижний порог допустимого уровня рассоления почвы, т/га.

При этом основной целью регулирования солевого режима или процессов «рассоления – засоления» почвы гидроагроландшафтных систем в период орошения является поддержание количества солей (S_k) в пределах допустимых значений ($S_{дон}$), при минимальной (ΔS) амплитуде.

Расчет ΔS_c , исходя из условий режима солей и влаги, установившегося в многолетнем разрезе, можно производить по формуле С.Ф. Аверьянова [1]:

$$\Delta S_c = \bar{n}_{cp} = -\frac{\bar{n}_2}{\bar{V}-1} + \frac{\bar{V}(\bar{V}-1+\bar{n}_2)}{2Pe(\bar{V}-1)^2} \left\{ \exp \left[2Pe \left(1 - \frac{1}{\bar{V}} \right) \right] - 1 \right\},$$

где $\bar{V} = V_1/V_2$; $\bar{n}_2 = n_2/n_1$; $\bar{n}_{cp} = n_{cp}/n_1$; $D^* = \lambda \cdot V$; V_1 – среднегодовое расходование воды на суммарное испарение, м/сут; V_2 – среднегодовая скорость водоподачи на поле, м/сут; n_1 и n_2 – минерализация грунтовых и оросительных вод, г/л; $Pe = V_1 \cdot x_1 / 2m \cdot D^* = x_1 / 2m \cdot \lambda$; x_1 – глубина грунтовых вод, м; m – пористость почвы; D^* – коэффициент конвективной диффузии, м²/сут; n_{cp} – среднее содержание солей в слое от поверхности земли до уровня грунтовых вод, г/л.

Показатели n_{cp} , n_1 , n_2 , x_1 , V_1 , V_2 , m и D^* определяются в зависимости от гидрогеохимических условий орошаемых земель. Уравнение С.Ф. Аверьянова решается методом подбора в отношении установления относительной скорости движения влаги – \bar{V} по предварительно назначенным величинам среднего засоления почвы – n_{cp} и глубины грунтовых вод – x_1 [1].

Определив соотношение нисходящих токов влаги (V_1), обусловленных поливами (O_p) и осадками (O_c), и восходящих токов (V_2), вызванных суммарным испарением (E), можно вычислить необходимую величину нисходящего движения воды:

$$V_2 = V_1 / \bar{V}.$$

Тогда оросительная норма технологического этапа адаптивно-ландшафтной мелиорации определяется по формуле: $O_p^n = V_2 \cdot T - O_c$, где T – продолжительность расчетного периода.

Пересчет минерализации грунтовых и оросительных вод, выраженной в г/л на %, производится с учетом влажности почвы W и объема массы почвы d по зависимости: $n(\%) = (n(z/l) \cdot W) / 10 \cdot d$.

Содержание солей в почвенном слое определяется по формуле: $S = 100 \cdot H \cdot d \cdot \gamma$, где H – мощность расчетного слоя, м; γ – содержание солей в почве, в зависимости от веса сухой почвы, %.

При этом оптимальное управление процессом солепереноса в почвах представляет собой проведение таких воздействий орошения $V(x,t)$, при которых концентрация солей в корнеобитаемой зоне $S(x,t)$ за период $(0,t)$ не превысит верхнего предельно допустимого уровня содержания солей в почвах ($S_{дон}^{верх}$). Полученные при проектировании процесса солепереноса оптимальные значения управляющих параметров, определяют в основном количественные характеристики орошения сельскохозяйственных культур в севооборотах. Продолжительность i -ротационного севооборота сельскохозяйственных культур обусловлена, прежде всего, степенью согласования между желаемым (оптимальным) состоянием процесса солепереноса и фактическим $S_k(x)$, которое возникает на конец предшествующего периода.

При этом функция оптимальности характеризуется отношением содержания солей в почве (S_n) к предельно допустимому уровню засоления почвы ($S_{дон}$). Это обеспечивает максимально-возможный урожай сельскохозяйственных культур [10]:

$$F_S = S_n / S_{дон},$$

где F_S – значение функции оптимальности содержания солей в почве для сельскохозяйственных культур.

Функция содержания солей в почве, для оценки оптимальной продуктивности сельскохозяйственных культур определяется по следующему уравнению: $FS = \exp[-k \cdot (F_S - 1)^b]$, где k – параметр, характеризующий отзывчивость растений к токсичным солям; b – параметр, характеризующий тип засоления почвы.

Блок «питательный режим почвы гидроагрландшафтов» представляется значением функций оптимальности азотного, фосфорного и калийного питания, которые определяются по формулам А.С. Образцова [18]:

$$F_N = N_m / N_{opt}; F_P = P_m / P_{opt}; F_K = K_m / K_{opt},$$

где N_m , P_m и K_m – вносимая доза азотных, фосфорных и калийных удобрений, кг/га; N_{opt} , P_{opt} и K_{opt} – оптимальная доза азотных, фосфорных и калийных удобрений, необходимая для получения максимального урожая, кг/га; F_N , F_P и F_K – значения функций оптимальности азотного, фосфорного и калийного питания сельскохозяйственных культур.

Функции, характеризующие отношение содержание азота (FW_N), фосфора (FW_P) и калия (FW_K) в почве к их оптимальным величинам для выращивания сельскохозяйственной культуры, выраженные в относительных единицах, можно определить по формулам А.С. Образцова [18]:

$$FW_N = \{(F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)]\}; FW_P = \{(F_P)^{1,35} \cdot \exp[1,1(1 - F_P)]\}; \\ FW_K = \{(F_K)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_K)]\}.$$

При этом плодородие почвы характеризуется содержанием гумуса [6]: $F_{Gum} = G_m / G_{opt}$, где G_m – содержание гумуса в почве, %; G_{opt} – содержание гумуса в почве, которое обеспечивает высокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа почв, %; F_{Gum} – отношение содержания гумуса в почве к его оптимальной величине для

выращивания сельскохозяйственной культуры, выраженное в относительных единицах.

Функция влияния содержания гумуса в почве (FW_{Gum}) определяется по формуле О.С. Образцова, для расчета обеспеченности растений элементами минерального питания [18]:

$$FW_{Gum} = \left\{ (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})] \right\}.$$

Аналогично определяют соотношения дозы органических удобрений к их оптимальным величинам (F_{Org}) и рассчитывают влияние внесения органических удобрений (FW_{Org}) с учетом года внесения удобрений [20]:

$$F_{Org} = Org_m / Org_{opt}; \quad FW_{Org} = \left\{ (F_{Org})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Org})] \right\} \cdot K_{Org},$$

где Org_m – внесенная доза органических удобрений, т/га; Org_{opt} – оптимальная для сельскохозяйственных культур доза внесения органических удобрений, т/га; K_{Org}^g – отношение содержания гумуса в почве к величине оптимальной для выращивания сельскохозяйственной культуры, выраженное в относительных единицах.

Обобщенную функцию питательного режима почвы, включающую влияние плодородия почвы, внесения минеральных и органических удобрений, рассчитываем по принципу Ю. Либиха:

$$FW_{ef} = \min [FW_{Org}, F_N, F_P, F_K],$$

где FW_{ef} – функция влияния эффективного плодородия на урожай сельскохозяйственных культур.

Блок «управление и регулирование почвообразовательных процессов гидроагrolандшафтов» представлен на основе формулы В.Р. Волобуева [5]:

$$Q_i = R \cdot \exp(-\alpha \cdot \bar{R}),$$

где Q_i – энергия, затрачиваемая на почвообразование; α – коэффициент, учитывающий состояние поверхности почвы; \bar{R} – гидротермический коэффициент («индекс сухости»), представляют собой отношение радиационного баланса (R) к затратам тепла на испарение выпавших осадков ($L \cdot O_c$).

Зависимость В.Р. Волобуева для определения энергии, затрачиваемой на почвообразование, достаточно хорошо описывается физическим законом Бугерра – Ламберта-Бэра, который характеризует поглощение средой световой энергии [8].

При этом генетическое единство понятий гидротермического коэффициента и энтропии заключается в характеристике теплового термодинамического процесса. Этот процесс, во-первых, характеризует условия тепло- и влагообеспеченности природной среды; во-вторых, определяет условия формирования природной системы; в-третьих, характеризует баланс энергии, и в должной мере определяет интенсивность протекания биохимического и геохимического процесса; в-четвертых, позволяет учесть характер и интенсивность антропогенной деятельности человека; в-пятых, характеризует направленность и интенсивность почвообразовательного процесса в природных системах, и может быть использован, как теоретическая модель почвообразовательного процесса (позволяет определить тип и подтип почвы).

Принцип энергетической сбалансированности тепла и влаги наблюдается в природных условиях, где гидротермический коэффициент («индекс сухости» – \bar{R}) равен 1,0. Поэтому в качестве критерия уровня гидротермический коэффициент можно принять равным в пределах 0,90. Тогда потенциально возможная энергия, затраченная на почвообразовательный процесс (Q_n), может быть определена по формуле:

$$Q_n = R \cdot \exp(-0,9 \cdot \alpha).$$

Функцию потенциально возможного использования радиационного баланса гидроагроландшафтных систем находим с помощью коэффициента, характеризующего экологическую продуктивность почв [15]:

$$K_n = F_Q = Q_i / Q_n.$$

Функцию влияния затрат энергии на почвообразование (FW_Q) на продуктивность гидроагроландшафтных систем можно определить по формуле:

$$FW_Q = \{(F_Q)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_Q)]\}.$$

Блок «формирование продуктивности гидроагроландшафтов», представлен по методике эталонных урожаев Х.Г. Тооминга [23] и методики расчета проектной урожайности Ю.Н. Никольского и В.В. Шабанова [24].

Для оценки потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур можно использовать формулы А.Д. Ничипоровича [17]:

$$ПУ = \frac{\alpha \cdot R}{C},$$

где ПУ – потенциальная продуктивность растений; α – коэффициент использования свободной энергии: $\alpha = K_{\phi AP} / 100$; C – калорийность

единицы урожая органического вещества; $K_{\phi AP}$ – коэффициент использования растениями активной фотосинтетической радиации.

Климатическая потенциально-возможная продуктивность сельскохозяйственных культур представляет собой такую продуктивность, которая ограничена влиянием температурного режима гидроаглоландшафтов [2]:

$$KПУ = ПУ \cdot FT ,$$

где $KПУ$ – климатическая потенциально-возможная урожайность; FT – функция влияния температурного режима.

Потенциально-возможное использование растениями радиационного баланса ограничивается затратами энергии на почвообразовательный процесс. Максимально-возможная продуктивность гидроаглоландшафтов ($МВП$) определяется по формуле: $МВП = KПУ \cdot FW_{\rho}$.

Формирование действительно-максимально возможной урожайности ограничивается уровнем естественного плодородия почвы:

$$ДМВП = МВП \cdot FW_{Gum} \cdot B_{nl} ,$$

где $ДМВП$ – действительно возможная урожайность; FW_{Gum} – функция влияния содержания гумуса в почве; B_{nl} – балл почвенного бонитета в относительных единицах.

Действительно-возможная урожайность сельскохозяйственных культур ($ДВП$) ограничивается степенями засоления почвы гидроаглоландшафтных систем: $ДВП = ДМВП \cdot FS$.

Получение уровня хозяйственной урожайности ($УП$) ограничивается реально существующим уровнем культуры земледелия и эффективности внесенных минеральных и органических удобрений: $УП = ДВП \cdot k_{зем} \cdot FW_{ef}$, где $k_{зем}$ – коэффициент который, характеризует уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности; FW_{ef} – функция эффективности внесения органических и минеральных удобрений в зависимости от условия влагообеспеченности сельскохозяйственных культур.

Обсуждение. Разработанная блочная модель регулирования и управления продуктивности сельскохозяйственных культур гидроаглоландшафтных систем, учитывающая закономерности энерго- и массообмена, позволяет конструировать современные экологически устойчивые и безопасные технологические системы на основе регламентированной продуктивности сельскохозяйственных угодий с учетом устойчивости природной системы.

При этом, теоретическими предпосылками для создания технологии проектирования гидроагроландшафтных систем явились новые представления об адаптивно-ландшафтной мелиорации, как инструменте для воспроизводства природно-ресурсного потенциала ландшафтных систем, где разность между $ПУ$ и $КПУ$ – это недобор урожая, вызванный температурным режимом вегетационного периода сельскохозяйственных культур, между $КПУ$ и $МВП$ – это недобор урожая из-за недостаточного использования радиационных балансов на почвообразовательной процесс, между $МВП$ и $ДМВП$ – это недобор урожая из-за засоленности почвы, между $ДМВП$ и $ДВП$ – это недобор урожая из-за ограниченности уровня естественного плодородия, между $ДВП$ и FW_{Gum} – это недобор урожая из-за несоблюдения культуры земледелия и неэффективности использования минеральных и органических удобрений сельскохозяйственными культурами [2].

Соотношение агроэкологических категорий урожайности ($ПУ$, $КПУ$, $МВП$, $ДМВП$, $ДВП$ и FW_{Gum}) позволяет определить комплексные оценки агроклиматических ресурсов [2]: степени благоприятности климатических условий – $K_n = КПП / ПУ$; степени благоприятности почвообразовательного процесса – $K_{no} = МВП / КПУ$; степени благоприятности почвенно-мелиоративных условий – $K_{nm} = ДМВП / МВП$; степени естественного плодородия почвы – $K_{nn} = ДВП / ДМВП$; уровень реализации агротехнических мероприятий – $K_{am} = УП / ДВП$.

Выводы. Функционирование гидроагроландшафтов предполагает наличие постоянного природного и антропогенного воздействия на все его компоненты, которое отличается по интенсивности и продолжительности, и требует необходимости регулирования и управления во временно-пространственных масштабах. Поэтому, для количественной и качественной оценки природного и антропогенного процесса в гидроагроландшафтах разработана математическая модель продуктивности сельскохозяйственных культур, которая представлена в блочной структуре. Она обеспечивает выбор наиболее приемлемых мелиоративных, агротехнических и природоохранных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. – М.: Колос, 1978. – 288 с.

2. Анафин М.Ш., Кулдуйсенов А., Мустафаев Ж.С. Программированное выращивание сельскохозяйственных культур на мелиоративно-неблагополучных землях // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1985. – №1. – С. 91-97.
3. Аци Дж. Сельскохозяйственная экология. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 479 с.
4. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс. Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.
5. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 120 с.
6. Галямин, Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 271 с.
7. Данильченко Н.В. Оазисное орошение подземными водами. – М.: Колос, 1983. – 95 с.
8. Ковда В.А. Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973. – том 1. – 447 с. – том 2. – 448 с.
9. Мустафаев Ж.С. Мелиоративная система – объект управления основными факторами растений // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1986. – №11. – С. 10-15.
10. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане. – Алматы: Гылым, 1997. – 358 с.
11. Мустафаев Ж.С., Даримбетов У.Д. Математическая модель оросительных систем // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1985. – №1. – С. 67-75.
12. Мустафаев Ж.С., Даримбетов У.Д. Математическое моделирование программных урожаев сельскохозяйственных культур на орошаемых землях // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1983. – №6. – С. 64-69.
13. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Мусабеков К.К., Есенгельдиева П.Е. Структурно-логическая модель устойчивого функционирования ландшафтов-аглоландшафтов-гидроаглоландшафтов // Новая стратегия научно-образовательных приоритетов в контексте развития АПК: Матер. Междунар. научно-практической конф., посвященной 85-летию Казахского национального аграрного университета. – Алматы, 2015. – С. 30-34.
14. Мустафаев Ж.С., Рябцев А.Д. Адаптивно-ландшафтные мелиорации земель в Казахстане. – Тараз, 2012. – 528 с.
15. Мустафаев Ж.С., Рябцев А.Д., Адильбектеги Г.А. Методологические основы оценки устойчивости и стабильности ландшафтов. – Тараз, 2007. – 218 с.

16. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение–почва–воздух. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 358с.
17. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова Н.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. – М.: изд. АН СССР, 1961. – 160 с.
18. Образцова А.С. Системный метод: Применение в земледелии. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 303 с.
19. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 176 с.
20. Полевой А.Н., Флоря Л.В. Моделирование агроклиматических ресурсов производительности урожая и формирования продуктивности сельскохозяйственных культур // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №1. – С. 36-49.
21. Сақун В.А. О рациональном уравнении процесса роста растений // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – № 7. – С. 81-86.
22. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – С. 8-12.
23. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 264 с.
24. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 142 с.
25. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 318 с.

Поступила 17.06.2016

Техн. ғылымд. докторы
Техн. ғылымд. докторы

Ж.С. Мустафаев
А.Т. Козыкеева
П.Е. Есенгельдиева
С.З. Жігітова

ГИДРОАГРОЛАНДШАФТТЫҚ ЖҮЙЕДЕГІ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІГІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫНЫҢ ҚОЛДАНБАЛЫ ҮЛГІСІ

Түйін сөздер: модель, бағалау, ресурстар, топырақ, гидроагроландшафт, реттеу, басқару? режим, өнімділігі, құнарлылығы

Гидроагроландшафттық жүйедегі ауылшаруашылық дақылдарының негізгі дәлелдемелерін және тіршілік ортасынның, яғни агроклиматтық қорларын басқаруға және реттеуге арналған алты бөліктен тұратын, агроклиматтық қор, ылғалдану, тұздану

және қоректік заттармен қамтамасыз етілу тәртібі, топырақтың даму үрдісі және өнімнің қалыптасуын бағалу үлгісі құрылған. Сонымен, ландшафттық-экологиялық жүргінің негізінде құрылған құрылымдық-ойлау үлгісі, жоғарғы өнімді гидроагрландшафттардың құрылымын жобалауға, табиғатты пайдалану және үйлестіру саласындағы табиғи жүйенің әлеуметтік қорын оңтайлауға арналған, ал ол табиғи жүйенің әлеуметтік қорын тиімді пайдалануды және адамзаттық табиғи-техногендік қызметінің жағдайында, олардың экологиялық орнықтылығын қамтамасыз етеді.

Mustafayev ZH.S, Kozykeeva A.T, Esengeldieva P.E., Zhigitova S.Z.

APPLIED MODEL OF CROP PRODUCTIVITY FORMATION IN HYDROAGRILANDSCAPE SYSTEMS

Keywords: assessment, resources, soil, hydroagrilandscape, regulation, management, regime, productivity, fertility

A model for agro-climatic resources of crops was created. This model used for the control and regulation of the main factors in the environment of hydroagrilandscape systems. Developed on the basis of landscape ecological approach, structural and logical model can be used for construct high-quality hydroagrilandscape to optimize resource potential of the natural system. This allows efficient using resource potential of the natural system, and ensure environmental sustainability in the conditions of anthropogenic activity.