

Л.Н. Медведева, А.Ф. Рогачев

Моделирование продукционного потенциала региона

Моделирование продукционного потенциала основывается на оценке сложившейся адаптивно-ландшафтной системы земледелия и перспективах ввода орошаемых земель. Научными школами под руководством академиков РАН Кружилина И.П., Щедрина В.Н. были разработаны, используемые на практике, адаптивно-ландшафтные системы земледелия и модели оросительно-осушительных мелиораций на Юге России. С помощью методов искусственного интеллекта было проведено моделирование продукционного потенциала Волгоградской области. Для построения модели продукционного потенциала региона (далее – ППР) использовались данные: потенциальная продуктивность агроландшафта (ППА) (количество биомассы, которое может образоваться в идеальных условиях) и реальная продуктивность агроландшафта (РПА) (количество биомассы, полученной в реальных условиях в текущем году). Потенциальная продуктивность для естественных ландшафтов (ППЛ) по формуле:

$$\text{ППЛ} = S \cdot CL; \quad (1)$$

Потенциальная продуктивность агроландшафтов по формуле:

$$\text{ППА} = S \cdot ART \cdot GGR, \quad (2)$$

где ППА – потенциальная продуктивность биомассы растительности в данных почвенно-климатических условиях, т/га;

S – индекс продуктивности почвы;

CL – коэффициент благоприятности климата;

ART – показатель соответствия климатических условий конкретной культуре;

GGR – коэффициент, зависящий от культуры производства. Для сельскохозяйственного производства коэффициент GGR находится в диапазоне от 0,5 до 1,45.

Коэффициент благоприятности климата CL – интегральный показатель, учитывающий тепло- и влагообеспеченность ландшафта по формуле:

$$CL = \sqrt{(\arctg \frac{Hf-113}{4} + 1,57) \cdot (\arctg \frac{T-6}{2} + 1,57)}, \quad (3)$$

где Hf – показатель эффективного увлажнения:

$$Hf = 43,2 \lg O_c - T, \quad (4)$$

где O_c – среднегодовое количество осадков, мм;

T – среднегодовая температура, °С.

Показатель соответствия агроклиматических условий ART для культивируемых сельскохозяйственных культур:

$$ART = e^{-\left[\left(\frac{Hf - Hf_0}{DH}\right)^2 + \left(\frac{T - T_0}{DT}\right)^2\right]}, \quad (5)$$

где Hf_0 , DH , T_0 , DT – параметры, определяемые в зависимости от биологических особенностей сельскохозяйственной культуры;

Hf_0 и T_0 – оптимальные условия увлажнения и температуры;

DH и DT – диапазон соответствующих условий, приемлемых для данной культуры.

Факторы, влияющие на *потенциальную продуктивность агроландшафта*, разделены на несколько групп: сильно влияющие (более 10%); слабо влияющие (от 10 до 1%); практически не влияющие (менее 1%). Расчетные данные по первой группе факторов – 47%. Математическую модель оптимального землепользования на мелиорированных землях по формуле:

$$\psi(u) = \max_{x_l, y} \left\{ \sum_{l \in L} C_l(y) \cdot x_l - C_0 \left[\left(\frac{y}{\theta} \right)^{4,35} - 1 \right] - \left(C_1 \left(\frac{y}{\theta} \right)^{4,35} + C_2 \right) \cdot \delta \right\}, \quad (6)$$

где $\psi(u)$ – целевая функция, определяющая наибольший эффект при оптимальном землепользовании, руб.;

u – уровень водоподдачи в систему, м³;

x_l – искомая площадь орошения под l – севооборот;

l – индекс севооборота;

y – общий коэффициент полезного действия оросительной системы в агроландшафте;

L – множество севооборотов, включающее подмножества $L_i, i \in [1, n]$, определенных видов сельскохозяйственной продукции, например овощей;

$C_l(y)$ – стоимость продукции с единицы орошаемой площади для l – севооборота, руб./га;

C_0 – приведенные капитальные затраты на строительство оросительных систем, руб.;

θ – КПД всей оросительной системы, $\theta \leq y \leq 1$;

C_1 – приведенные капитальные затраты на строительство оросительного канала в земляном русле, руб.;

C_2 – приведенные капитальные затраты на строительство оросительного канала бетонном русле в сопоставимых ценах, руб.;

δ – бинарная переменная, определяемая из зависимости:

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{j \in J^+} u_j \leq u_j^0, \\ 1, & \text{если } \sum_{j \in J^+} u_j > u_j^0, \end{cases} \quad (7)$$

где u_j – пропускная способность проектируемого перспективного j -го участка оросительного канала, м³;

u_j^0 – пропускная способность существующего j -го отрезка оросительного канала, м³.

С помощью упомянутой бинарной переменной δ можно определить строительство оросительного канала с индексом, рассматриваемого агроландшафта j .

Система ограничений математической модели, характеризующая подачу оросительной воды на выращивание овощных и кормовых культур, с учетом неотрицательности переменных $x_l \geq 0, l \in L$, включает:

$$\sum_{l \in L} a_l(y) x_l = u, \quad (8)$$

$$\sum_{l \in L_1} q_l x_l \leq \Pi^{об}, \quad (9)$$

где a_l – коэффициенты суммарного водопотребления севооборотов, м³/га;

L_1 – подмножество севооборотов, обеспечивающее производство овощей;

q_l – количество овощей, получаемое с 1 га овощного севооборота, ц/га;

$\Pi^{об}$ – существующая суммарная потребность в овощах в соответствии со спросом на рынке, ц/га.

Кроме того, ограничения по производству кормов с учетом их дефицита (в кормовых единицах):

$$\sum_{l \in L_2} b_l x_l \leq \Pi^к, \quad (10)$$

$$\mu \sum_{l \in L_2} b_l x_l - \sum_{l \in L_3} b_l x_l \leq -\mu \Pi^{кп}, \quad (11)$$

где L_2 – подмножество севооборотов, обеспечивающих производство кормов;

b_l – число кормовых единиц, получаемое с 1 га

l – индекс севооборота (за счет кормовых культур), к.е./га;

$\Pi^к$ – дефицит кормов в зоне, к.е.;

μ – отношение необходимых кормов с кормовых полей к кормам с культурных пастбищ на условную голову скота;

L_3 – подмножество севооборотов, обеспечивающих производство кормов с культурных пастбищ;

$\Pi^{кп}$ – продукция существующих культурных пастбищ, к.е.

Входящая в экономико-математическую модель (6) стоимость продукции $C_l(y)$, произведенная на единице орошаемой площади, для l – севооборота определена из зависимости:

$$C_l(y) = \begin{cases} \sum_{\lambda \in L} \alpha_{\lambda} \chi_{\lambda l} Y_{\lambda l} - \varepsilon_l (e_l^{ip} + e_l^{cx}) - r_l - p_l \left(\frac{y}{\theta}\right)^{4,35}, & l \in L|L_5, \\ \sum_{\lambda \in L} \alpha_{\lambda} \chi_{\lambda l} Y_{\lambda l} - \varepsilon_l (e_l^{up} + e_l^{cx}) - r_l - p_l \left[\left(\frac{y}{\theta}\right)^{4,35} - 1\right], & l \in L_5, \end{cases} \quad (12)$$

где α_{λ} – оптимальная оценка стоимости λ – продукции, руб./га;

$\chi_{\lambda l}$ – коэффициент долевого участия λ – культуры в l – севообороте;

$Y_{\lambda l}$ – урожайность λ – культуры в l – севообороте, ц/га;

ε_l – коэффициент приведения;

e_l^{np} – удельные капитальные затраты на мелиоративную подготовку земель (руб./га), включая элементы водохозяйственной системы, не зависящие от КПД;

e_l^{cx} – удельные капитальные затраты на создание орошаемых земель, руб./га;

r_l – дополнительные удельные агротехнические затраты в связи с орошением, руб./га;

p_l – удельные приведенные затраты на строительство оросительных систем, руб./га.

С помощью коэффициента средней устойчивости: $0,1 < C_v < 0,2$ можно рассчитать емкость отдельного агроландшафта с вводимыми орошаемыми землями и севооборотами. Структура мелиоративных воздействий на отдельный агроландшафт (M_A), включает:

$$M_A = N_{гм} + \mathcal{E}_т + \mathcal{E}_у + \mathcal{E}_я + \mathcal{E}_я + N_{др} \quad (13)$$

где $N_{гм}$ – гидромелиоративная нагрузка (энергия, связанная с подачей воды в почву при орошении), ГДж/га;

$\mathcal{E}_т$ – энергия, поступающая в почву за счет движения сельскохозяйственной техники, ГДж/га;

$\mathcal{E}_у$ – энергия поступления в почву с органическими и минеральными удобрениями, ГДж/га;

$\mathcal{E}_я$ – энергия, вносимая в почву с ядохимикатами, ГДж/га;

$N_{др}$ – другие виды нагрузки (поступление в почву загрязнителей), ГДж/га.

Расчеты показали, что размеры сельскохозяйственных угодий и орошаемых земель, оптимизированные с учетом продукционного потенциала, должны соответствовать следующим значениям (*общая площадь / пашня / площадь орошаемых земель, тыс. га*): черноземы 2461 / 1974 / 90; темно-каштановые: 1602 / 1077 / 120; каштановые: 3794 / 2484 / 340; светло-каштановые 753 / 389 / 100. Прогнозируемая для Волгоградского региона суммарная площадь орошаемых земель с учетом продукционного потенциала, должна составлять с учетом имеющихся (80 тыс. га) – 550 тыс. га.