

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Ж.С. Мустафаев *д.т.н., профессор*

*АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан*

*E-mail: z-mustafa@rambler.ru*

В данной статье проведен анализ расчетных методов определения радиационного баланса и фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий. Недостаток постоянных актинометрических наблюдений солнечной радиации и радиационного баланса на метеорологических станциях стран Евразийского региона приводит к широкому использованию эмпирических и полуэмпирических моделей, основанных на климатических и географических показателях. Математические модели, базирующиеся на климатических показателях, изменяющихся в пространственных и временных аспектах и формирующиеся на основе принципа природных аналогий, обеспечивают получение данных высокой достоверности и надежности. Однако расчетные методы, использующие географические показатели, не имеют физического и математического смысла, что приводит к значительным погрешностям в данных. Цель исследования – проанализировать косвенные методы для выявления их физической и математической обоснованности. Подчеркивается необходимость разработки количественных методов оценки эффективного использования фотосинтетически активной радиации для улучшения прогнозирования и управления сельскохозяйственными угодьями.

**Ключевые слова:** радиационный баланс, фотосинтетически активная радиация, сельскохозяйственные угодья, эмпирические модели, полуэмпирические модели, климатические показатели, географические показатели, математическое моделирование, природные аналогии.

Поступила: 27.12.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-113-2-25-33

### ВВЕДЕНИЕ

Радиационный баланс или фотосинтетически активная радиация почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий, характеризующие приток тепла в виде лучистой энергии, являются важнейшей составной частью процесса теплообмена. Под влиянием радиационного баланса изменяются энергетические ресурсы атмосферы и земной поверхности, выполняющие средообразующие или экологические функции, что является научной основой для производства сельскохозяйственной продукции. Эти процессы напрямую влияют на рост и развитие сельскохозяйственных культур, что делает их важными для агрономии и управления сельским хозяйством.

Однако в настоящее время в странах Евразийского региона актинометрическая

сеть, которая проводит постоянное наблюдение за солнечной радиацией и радиационным балансом, невелика. В связи с этим недостаток многолетних информационно-аналитических данных приводит к необходимости использования косвенных методов расчета радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий.

В результате анализа исследований расчетных методов определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий установлено, что для разработки математических моделей в основном используется сумма температур воздуха выше 10°C, изменяющихся в пространственном

и временном аспектах. Также существуют методы, построенные на географических показателях, которые практически пригодны только для тех условий, для которых они разработаны. Это требует необходимости оценить их физическую обоснованность с точки зрения принципов природных аналогий, обеспечивающих воспроизведение естественных процессов функционирования компонентов природы.

Цель исследования – проанализировать косвенные методы определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий для выявления их физического и математического смысла, что обеспечивает обоснованность, достоверность и надежность этих методов.

Объекты исследования – эмпирические и полуэмпирические математические модели, используемые для определения радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий.

Методы исследования включают анализ и сравнение существующих математических моделей, эмпирических данных и климатических показателей. Ожидается, что результаты исследования помогут улучшить точность и надежность оценок радиационного баланса, что в свою очередь, будет способствовать более эффективному управлению сельскохозяйственными ресурсами и повышению урожайности.

Таким образом, исследование внесет значимый вклад в развитие методов оценки радиационного баланса и их применение в сельскохозяйственной практике, обеспечивая научную базу для принятия обоснованных решений в агрономии и мелиорации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из фундаментальных направлений по оценке радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий является направление, развиваемое в работах В.С. Мезенцева, И.В. Карнацевича, Г.В. Беленко, Ю.Н. Плотникова, С.Д. Полисадова, Ю.Н. Никольского и В.В. Шабанова. В этих

работах для оценки радиационного баланса используются климатические показатели, изменяющиеся в пространственных и временных аспектах.

Существует большое количество исследований, среди которых можно выделить работы Б.М. Братченко, В.М. Левшунова, Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Ж.С. Ауганбаева, К.К. Мусабекова, А.С. Сейтказиева, К.А. Естаева, П.И. Есенгельдиевой, Г.Н. Хожановой, Н.К. Дудкова, Х.И. Турсунбаева и. В этих работах проводится оценка радиационного баланса или фотосинтетически активной радиации почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий с использованием географических показателей местности.

Методологической основой исследования является системный подход, базирующийся на материалистической теории познания, согласно которой фундаментом познания и критерием истины признаются законы природы и принципы природопользования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки влаго- и теплообеспеченности и природно-климатического районирования территорий природной системы в странах Евразийского региона используются коэффициент естественного увлажнения и «индекс сухости», характеризующие обмен веществ и энергии в окружающей среде.

– коэффициент естественного увлажнения ( $K_{yi}$ ) Н. Н. Иванова (1978):

$$K_{yi} = O_{ci} / E_{oci}, \quad (1)$$

где  $O_{ci}$  – атмосферный осадок, мм;  $E_{oci} = \sum_{i=1}^n E_{mi}$  – суммарная испаряемость с водной поверхности, мм;  $n$  - количество месяцев в период температур воздуха выше 10 °С;  $E_{mi}$  – месячная испаряемость с водной поверхности (мм), которая определяется по формуле:

$$E_{mi} = 0,0018 \times (t_i + 25)^2 \times (100 - \alpha_i), \quad (2)$$

здесь  $t_i$  – среднемесячная температура воздуха, °С;  $\alpha_i$  – среднемесячная относительная влажность воздуха, %;

– «индекс сухости» или гидротермический коэффициент ( $\bar{R}_i$ ) М. И. Будыко (1956):

$$\bar{R}_i = R_i/L \times O_{ci}, \quad (3)$$

где  $R_i$  – радиационный баланс, определяющий приток солнечной энергии и количество фотосинтетически активной радиации, ккал/см<sup>2</sup> или кДж/см<sup>2</sup> в год;  $L$  – скрытая теплота парообразования, равно 0,6 ккал или 2,5 кДж.

Коэффициент естественного увлажнения ( $K_{yi}$ ) и «индекс сухости» ( $\bar{R}_i$ ) не только характеризуют естественную влагообеспеченность и теплообеспеченность, но и являются одними из основных средообразующих факторов, определяющих связь климатических условий практически со всеми природными элементами и подчиняющихся законам географической и широтной зональности от экватора к полюсам, имеющих физический и математический смысл (Ж.С. Мустафаев, 2022; 2023).

Математическое выражение «индекса сухости» ( $\bar{R}_i$ ) М.И. Будыко и коэффициента естественного увлажнения ( $K_{yi}$ ) Н.Н. Иванова имеют одинаковый смысл, так как «индекс сухости» является обратной величиной коэффициента естественного увлажнения:

$$K_{yi} = 1/\bar{R}_i \rightarrow O_{ci}/E_{oci} = L \times O_{ci}/R_i \rightarrow O_{ci}/E_{oci} = O_{ci}/E_i, \quad (4)$$

где  $E_i = R_i/L$  – суммарное испарение с почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий, мм.

По Н.В. Данильченко (1999) суммарное водопотребление или суммарный расход воды на транспирацию растений и испарение с поверхности почвы, являющихся основным элементом водного баланса орошаемых земель, принимается равным испаряемости, скорректированной с учетом биологической особенности сельскохозяйственных культур и изменением термического состояния территории под влиянием орошения, которое определяется по формуле:

$$E_{vi} = K_{oi} \times K_v \times E_{oi}, \quad (5)$$

где  $E_{vi}$  – суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур, мм;  $K_{oi}$  – ми-

кроклиматический коэффициент, характеризующий уменьшение влагопоглощающей способности приземного слоя атмосферы над сельскохозяйственным полем под влиянием орошения;  $K_{vi}$  – биологический коэффициент, учитывающий биологические свойства сельскохозяйственных культур и ее влияние на режим потребления воды.

Используя зависимость между испаряемостью с водной поверхности ( $E_{oi}$ ) и суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур ( $E_{vi}$ ), можно получить математическую модель для определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных угодий ( $E_{ali}$ ), базирующихся на испаряемости с водной поверхности ( $E_{oi}$ ), которые не меняют структуры математического выражения:

$$E_{ali} = K_{hpi} \times E_{oi}, \quad (6)$$

где  $K_{hpi}$  – гидрофизический коэффициент, учитывающий испаряющую способность сельскохозяйственных угодий.

Параметр уравнения  $K_{hpi}$  отражает общность между суммарным водопотреблением сельскохозяйственных угодий ( $E_{ali}$ ) и испарением с водной поверхности ( $E_{oi}$ ), что характеризует взаимосвязанность и взаимообусловленность коэффициента естественного увлажнения и «индекса сухости»:

$$K_{hpi} \times (O_{ci}/E_{oci}) = O_{ci}/E_i. \quad (7)$$

В связи с отсутствием постоянных актинометрических исследований и наблюдений по солнечной радиации и радиационному балансу во всех метеорологических станциях по причине их сложности и, для их определения используется метод косвенного расчета радиационного баланса с использованием полуэмпирических и эмпирических связей радиационного баланса с его факторами (В.С. Мезенцев, 1974).

Эмпирическая связь радиационного баланса ( $R_i$ , ккал/см<sup>2</sup>) с суммой температур воздуха ( $\sum t_{ci} > 10^\circ\text{C}$ ) выше  $10^\circ\text{C}$ :

– для районов избыточного увлажнения:

$$R_i = 0,01042 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ\text{C} + 8,52); \quad (8)$$

– для Урала:

$$R_i = 0,011 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ C + 7,0); \quad (9)$$

– для Беларуси:

$$R_i = 0,0093 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ C + 10,80); \quad (10)$$

– для юго-востока Западной Сибири:

$$R_i = 2,25 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ C / 1000)^2 + 0,60 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ C / 1000) + 20,4. \quad (11)$$

– для аридной зоны России и Центральной Азии (Ю.Н. Никольский, В.В. Шабанов, 1986):

$$R_i = 0,0079 \times (\sum t_{ci} > 10^\circ C + 13,39); \quad (12)$$

Полуэмпирические связи радиационного баланса ( $R_i$ ) с широтой ( $\varphi_i$ ) и высотной местности ( $H_i$ ) (В.С. Мезенцев, 1974):

– для станций СНГ (Б.М. Барченко, 1967):

$$R_i = 88,3 - 1,06 \times \varphi_i - 0,0324 \times H_i + 0,8 + 0,15 \times \alpha_i, \quad (13)$$

где  $\alpha$  – продолжительность солнечного сияния за май...август в процентах от возможного;

– для Средней Сибири (В.М. Левшунов, 1971):

$$R_i = 92,16 - 1,122 \times \varphi_i - 0,0367 \times H_i. \quad (14)$$

Для определения радиационного баланса на территориях Центральной Азии, Ю.Г. Безбородов, Н.Н. Хожанов, Ж.С. Ауганбаев (2020), рекомендуют линейно-корреляционную модель в зависимости от высота местности ( $H_i$ ), и имеют следующий вид:

$$R_i = 0,190 \times H_i + 113,6, \text{ кДж/см}^2. \quad (15)$$

Полуэмпирические уравнения построенные на основе линейно-корреляционной модели для определения радиационного баланса ( $R_i$ ) с широтой ( $\varphi_i$ ) и высотной местности ( $H_i$ ) Б.М. Братченко (1967), В.М. Левшунова (1971), Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Ж.С. Ауганбаева (2020) не имеют физический и математический смысл, так как они построены на постоянных географических показателях,

которые не относятся к физическим факторам, обладающих изменчивостью во временных аспектах.

Н.Н. Хожановым и др. (2017), для углубленного изучения формирования радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий с учетом географии местности, получены корреляционные зависимости отметки местности ( $H_i$ ) с индексом сухости ( $\bar{R}_i$ ):

– для Туркестанской (Южно-Казахстанской) области:

$$H_i = 1000 - 250 \times \bar{R}_i \rightarrow \bar{R}_i = 4 - (H_i / 250); \quad (16)$$

– для Северо-Казахстанской области:

$$H_i = 1270 - 794 \times \bar{R}_i \rightarrow \bar{R}_i = 1,6 - (H_i / 794); \quad (17)$$

– для Западно-Казахстанской области:

$$H_i = 250 - 113,6 \times \bar{R}_i \rightarrow \bar{R}_i = 2,2 - (H_i / 113,6). \quad (18)$$

Далее, с использованием линейно-корреляционной модели «индекса сухости» в зависимости от отметки местности в виде  $\bar{R}_i = b - (H_i / \alpha)$  и приравнивая их показатели к индексу сухости  $\bar{R}_i = R_i / L \times O_{ci}$ , Н. Н. Хожанов и др. (2017) доказывают возможность установить фактические показатели радиационного баланса ( $R_i$ ) конкретной территории с большей достоверностью:

– для Туркестанской (Южно-Казахстанской) области:

$$R_i / L \times O_{ci} = 4 - (H_i / 250) \rightarrow R_i = [L \times O_{ci} \times (1000 - H_i)] / 250; \quad (19)$$

– для Северо-Казахстанской области:

$$R_i / L \times O_{ci} = 1,6 - (H_i / 794) \rightarrow R_i = [L \times O_{ci} \times (1270 - H_i)] / 794; \quad (20)$$

– для Западно-Казахстанской области:

$$R_i / L \times O_{ci} = 2,2 - (H_i / 113,6) \rightarrow R_i = [L \times O_{ci} \times (250 - H_i)] / 113,6. \quad (21)$$

Таким образом, сравнительный анализ формальных признаков модели и физического содержания параметров модели для определения

радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий показывает наличие их значимой корреляционной связи с атмосферными осадками и отметками местности, которые использованы для определения радиационного баланса различных областей Республики Казахстан, где их количественное значение в пространственных аспектах колеблется на территории Туркестанской области – 305,3...636,1 кДж/см<sup>2</sup>, Северо-Казахстанской области – 270,8...307,7 кДж/см<sup>2</sup> и Западно-Казахстанской области – 269,9...473,7 кДж/см<sup>2</sup> (Н.Н. Хожанов; 2017).

Отсюда следует, что суммарное водопотребление сельскохозяйственных угодий, которое определяется по формуле М.И. Будыко (1956) имеет следующей вид –  $E_i = R_i/L$ , и тогда при скрытой теплоте парообразования (L), равной 2,5 кДж/см<sup>2</sup> их количественное значение на территории Туркестанской области – 1221,2...2544,4 мм, Северо-Казахстанской области – 1083,2...1230,8 мм и Западно-Казахстанской области – 1079,6...1894,8 мм, что не реально и не подтверждается логическими выводами вытекающие из познавательного, а не действительного отношения, и претендующие на объективную и абсолютную истину.

На основе полученной линейно-корреляционной модели для определения радиационного баланса ( $R_i$ ), Ю.Г. Безбородовым, Н.Н. Хожановым, Ж.С. Ауганбаевым (2020), выведен радиационный индекс абсолютной высоты местности, имеющий следующей вид:

$$\bar{R}_{Hi} = R_i/H_i. \quad (22)$$

Развивая идею построения «универсальной» модели для оценки воздействия энергетических ресурсов на рост и развитие сельскохозяйственных культур, Ю.Г. Безбородовым, Н.Н. Хожановым, Н.К. Дудковым (2023) выявлена связь коэффициента естественного увлажнения ( $K_{yi}$ ) с радиационным индексом абсолютной отметки местности ( $\bar{R}_{Hi}$ ):

$$K_{yi} = \alpha \times \bar{R}_{Hi} + b = 0,281 \times \bar{R}_{Hi} + 0,098, \quad (23)$$

где  $\alpha$  – коэффициент регрессии;  $b$  – свободный член, отражающий минимальное зна-

чение временного ряда.

Подставляя в уравнение (23) математическое значение  $K_{yi} = O_{ci}/E_{oci}$  и  $\bar{R}_{Hi} = R_i/H_i$ , а также после некоторых преобразований получим коэффициент солнечной радиации, характеризующий ослабление солнечной энергии (Ю.Г. Безбородов, Н.Н. Хожанов, Н.К. Дудков, 2023):

$$KR_i = R_i \times E_{ci}/O_{ci} \times H_i. \quad (24)$$

Итак, на наш взгляд уравнение (24) невозможно получить путем математического преобразования уравнения (23), так как после вставления уравнения (23) математических значений  $K_{yi} = O_{ci}/E_{oci}$  и  $\bar{R}_{Hi} = R_i/H_i$ , получаем следующее выражение:

$$O_{ci}/E_{oci} = 0,281 \times R_i/H_i + 0,098. \quad (25)$$

На основе уравнения (25) после некоторых математических преобразований можно получить уравнение, не имеющий физический и математический смысл:

$$O_{ci}/E_{oci} = 0,281 \times R_i/H_i + 0,098 \rightarrow R_i \times E_{oci}/O_{ci} \times H_i = [3,559 - 0,3488 \times (E_{oci}/O_{ci})]. \quad (26)$$

Как видно из уравнения (26), его правая часть не имеет физического смысла и не может характеризовать в явном виде коэффициент солнечной энергии.

Для многофакторного анализа широко используется квалитетическая модель, базирующаяся на методах качественного анализа, которая дает понимание упорядоченного количества множеств статистических показателей, посредством количественных мер, определяющих состояние компонентов природной системы, и позволяющий формально получить коэффициент солнечной энергии:

$$K_{Ri} = K_{yi} \times \bar{R}_{Hi} = (O_{ci}/E_{oci}) \times (R_i/H_i) = R_i \times E_{oci}/O_{ci} \times H_i. \quad (27)$$

Для природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда в странах Евразийского региона используется энергетический коэффициент ( $K_{ii}$ ) Д.И. Шашко (1967):

$$K_{ii} = \sum t_{ci} > 10 \text{ } ^\circ\text{C} / 1000, \quad (28)$$

где  $\sum t_{ci} > 10 \text{ } ^\circ\text{C}$  – сумма температур выше  $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$ , отражающая поступление солнечной энергии и теплообеспеченность сельскохозяйственных культур;  $1000 \text{ } ^\circ\text{C}$  – число, равное сумме температур на современной границе поливного земледелия.

На основе энергетического коэффициента  $K_{ii}$  Д.И. Шашко (1967), Ю.Г. Безбородова, Н.Н. Хожанова, Н.К. Дудкова (2023) получен коэффициент теплообеспеченности сельскохозяйственных культур:

$$k_i = \sum t_{ci} > 10 \text{ } ^\circ\text{C} / \sum t_{cai} > 10 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (29)$$

где  $\sum t_{cai} > 10 \text{ } ^\circ\text{C}$  – сумма биологически активных температур воздуха за вегетационный период сельскохозяйственных культур.

На основе уравнений (28) и (29) можно определить коэффициент использования сумма температур выше  $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$  за вегетационный период сельскохозяйственных культур, который будет иметь следующий вид:

$$k_{ii} = \sum t_{ca_i} > 10 \text{ } ^\circ\text{C} / \sum t_{ci} > 10 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (30)$$

Основным механизмом формирования урожайности сельскохозяйственных культур является процесс транспирации, движущей силой которого служит радиационный баланс и фотосинтетически активная радиация ( $PAR_i$ ) (А.А. Ничипорович и др., 1961).

Основываясь на методах программирования продуктивности культур М.К. Каюмова (1989), потенциальный урожай сельскохозяйственных культур, обеспеченный приходом  $PAR_i$ , можно определить по формуле:

$$PPB_i = R_i \times k_{ii} \times K_{PAR} \times 10^4 / q_i, \quad (31)$$

где  $PPB_i$  – потенциальная урожайность сухой биомассы растения, ц/га;  $R_i$  – радиационный баланс или приход фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ) за период сумма температур выше  $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\text{кДж}/\text{см}^2$ ;  $K_{PAR}$  – коэффициент использования ФАР посевами, %;  $q_i$  – калорийность урожая (целого растения),  $\text{кДж}/\text{кг}$ . Растительные покровы рассматриваются как приемники радиации, которые имеют раз-

личную геометрическую структуру и среду, при этом листовая поверхность в посевах играет основной роль для использования фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ) за период вегетации сельскохозяйственных культур (Х.Г. Тооминг, 1984). Следовательно, коэффициент использования фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ) в реальных посевах во многом зависит от ориентации листьев сельскохозяйственных культур, то есть в сравнения с горизонтальной ориентацией листьев, в вертикальной поглощается больше фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ), обеспечивающих высокую продуктивность сельскохозяйственных культур. В связи с этим, следует отметить, что определение прихода фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ) за период вегетации сельскохозяйственных культур по формуле Безбородова, Н.Н. Хожанова, Н.К. Дудкова (2023), в зависимости от коэффициента солнечной радиации ( $K_{Ri}$ ) и высоты растений ( $h_{pi}$ ), имеет следующий вид:  $R_i = K_{Ri} \times h_{pi}$  (где  $h_{pi}$  – высота растений, м), что не реально, так как использование фотосинтетически активной радиации ( $PAR_i$ ) Солнца сельскохозяйственными культурами в основном зависит от площади поверхности листьев растений. Используя формулу (31) для расчета теоретически возможной биологической урожайности, можно определить коэффициент использования фотосинтетически активной радиации ( $K_{PAR}$ ) посевами, характеризующий эффективность использования энергетических ресурсов сельскохозяйственными культурами:

$$K_{PAR} = ABY_i \times q_i / R_i \times k_{ii} \times 10^4, \quad (32)$$

где  $ABY_i$  – фактически полученная в опыте биологическая урожайность сельскохозяйственных культур (общая сухая биомасса), ц/га;  $R_i \cdot k_{ii}$  – приход ФАР за период вегетации сельскохозяйственных культур,  $\text{кДж}/\text{см}^2$ ;  $q_i$  – калорийность урожая целого растения,  $\text{кДж}/\text{кг}$ .

Анализ показал, что расчетные формулы для оценки радиационного баланса почвенного и растительного покрова и эффективности использования энергетических ресурсов сельскохозяйственных угодий, как это принято разработчиками во всех случаях носит узкий и предметный характер, не включает познающую и преобразующую деятельность.

С этой точки зрения главной ценностью, на которую должна быть ориентирована разработка количественных методов оценки эффективного использования почвенным и растительным покровом фотосинтетически активной радиации ( $PAR_p$ ) Солнца, является математическое моделирование реальных природных процессов, учитывающих изменения в пространственных и временных аспектах.

Таким образом, при разработке физически достоверных и математически надежных моделей для прогнозирования радиационного баланса почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных угодий во временных и пространственных аспектах, необходимо обеспечить соблюдение принципа природных аналогий и их синхронности между оцениваемыми и используемыми факторами, которые по возможности воспроизводят естественные процессы функционирования компонентов природы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии.-М.: Издательство стандартов, 1973.-172 с.
2. Безбородов Ю.Г., Хожанов Н.Н., Ауганбаев Ж.С. Оценка продуктивности мелиоративных агроландшафтов Жамбылской области // Природообустройство, 2020.- №4.- С. 22-27.
3. Безбородов Ю.Г., Хожанов Н.Н., Дуданов Н.К. Расчет фотосинтетической активной радиации // Природообустройство, 2023.- №3.- С. 66-71.
4. Бudyko M.I. Тепловой баланс земной поверхности.- : Гидрометеоздат, 1956. – 256 с.
5. Данильченко Н.В. Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм // Мелиорация и водное хозяйство, 1999.- №4.- С.25-29.
6. Иванов Н.Н. 1941. Зоны увлажнения земного шара // Известия АН СССР. Серия география и геофизика. – 1978. – № 3. – С. 261–288.
7. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 186 с.
8. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Беленко Г.В., Братченко Б.М., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края. М.: Колос, 1974.- 240 с.
9. Мустафаев Ж.С. Экологический профиль мелиорации сельскохозяйственных земель //Природообустройство, 2022.-№2.- С. 13-22.
10. Мустафаев Ж.С. О генетической (гносеологической) теории мелиорации сельскохозяйственных земель//Природообустройство, 2023.-№2.- С. 23-27.
11. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова Н.П. Фотосинтетическая деятельность растения в посевах. – М., изд. АН СССР, 1961. – 160 с.
12. Никольский Ю.Н., Шабанов В.В. Расчет проектной урожайности в зависимости от водного режима мелируемых земель // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 9. – С. 52–56.
13. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 264 с.
14. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. - М.: Колос, 1967.- 312 с.
15. Хожанов Н.Н., Мусабеков К.К., Сейтказиев А.С., Есенгельдиева П.Н., Естаев К.А., Хожанова Г.Н., Турсунбаев Х.И. Комплексная мелиорация- основа зеленой экономики в земледелии // International Scientific Review № 5(36) / International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: XXXIV International Scientific and Practical Conference. - Chicago, USA - 25 MAY, 2017. -С. 50-55.
16. Хожанов Н.Н., Сейтказиев А.С., Турсунбаев Х.И., Мусабеков К.К., Естаев К.А., Масатбаев М. Энергетические основы интенсивной системы земледелия // Вестник науки и образования, 2017.- №12 (36). - том 1.- С. 34-40.

### REFERENCE

1. Azgaldov G.G., Raikhman E.P. About qualimetry. - M.: Standards Publishing House, 1973. - 172 p.
2. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Auganbaev Zh.S. Assessment of the productivity of reclamation agrolandscapes in the Zhambyl region // Nature Management, 2020.- No. 4.- p. 22-27.
3. Bezborodov Yu.G., Khozhanov N.N., Dudanov N.K. Calculation of photosynthetic active radiation // Nature Management, 2023.- No. 3.- P. 66-71.
4. Budyko M.I. Thermal balance of the earth's surface. – L.: Gidrometeoizdat, 1956. – 256 p.
5. Danilchenko N.V. Bioclimatic justification of total water consumption and irrigation standards // Melioration and water management, 1999.- No. 4.- P.25-29.
6. Ivanov N.N. 1941. Moisture zones of the globe // Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geography and geophysics series. – 1978. – No. 3. – P. 261–288.
7. Kayumov M.K. Programming the productivity of field crops. – M.: Agropromizdat, 1989. – 186 p.
8. Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V., Belenko G.V., Bratchenko B.M., Plotnikov Yu.N., Polisadov S.D. Moisture supply regimes and conditions for hydromelioration of the steppe region. M.: Kolos, 1974. - 240 p.
9. Mustafaev Zh.S. Ecological profile of agricultural land reclamation // Nature Management, 2022.-No. 2.- P. 13-22.
10. Mustafaev Zh.S. On the genetic (epistemological) theory of agricultural land reclamation // Nature Management, 2023.-No. 2.- P. 23-27.
11. Nichiporovich A.A., Stroganova L.E., Chmora S.N., Vlasova N.P. Photosynthetic activity of plants in crops. – M., ed. USSR Academy of Sciences, 1961. – 160 p.
12. Nikolsky Yu.N., Shabanov V.V. Calculation of design yield depending on the water regime of reclaimed lands // Hydrotechnics and land reclamation. – 1986. – No. 9. – P. 52–56.
13. Tooming H.G. Ecological principles of maximum crop productivity. – L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 264 p.
14. Shashko D.I. Agroclimatic zoning SSSO.- M.: Kolos, 1967.- 312 p.

15. Khozhanov N.N., Musabekov K.K., Seitkaziev A.S., Yesengeldieva P.N., Estaev K.A., Khozhanova G.N., Tursunbaev Kh.I. Integrated land reclamation is the basis of the green economy in agriculture // International Scientific Review No. 5(36) / International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: XXXIV International Scientific and Practical Conference. - Chicago, USA - MAY 25, 2017. - WITH. 50-55.
16. Khozhanov N.N., Seitkaziev A.S., Tursunbaev Kh.I., Musabekov K.K., Yestaev K.A., Masatbaev M. Energy foundations of an intensive farming system // Bulletin of Science and Education, 2017.- No. 12 (36). - volume 1. - p. 34-40.

## АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖЕРЛЕРІНІҢ ТОПЫРАҚ ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ БАЛАНСЫН АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІ

**Ж.С. Мустафаев** *т.ғ.д., профессор*

*«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*

*E-mail: z-mustafa@rambler.ru*

Бұл мақалада ауылшаруашылық жерлерінің топырақ және өсімдік жамылғысының радиациялық балансын және фотосинтетикалық белсенді радиациясын анықтаудың есептік әдістеріне талдау жасалды. Еуразия аймағы елдерінің метеорологиялық станцияларында күн радиациясы мен радиациялық тепе-теңдікті тұрақты актинометриялық бақылаулардың болмауы климаттық және географиялық көрсеткіштерге негізделген эмпирикалық және жартылай эмпирикалық модельдерді кеңінен қолдануға әкеледі. Кеңістіктік және уақыттық аспектілерде өзгеретін және табиғи ұқсастықтар принципі негізінде қалыптасатын Климаттық көрсеткіштерге негізделген математикалық модельдер жоғары сенімділік пен сенімділік деректерін алуды қамтамасыз етеді. Алайда, географиялық көрсеткіштерді қолданатын есептеу әдістері физикалық және математикалық мағынаға ие емес, бұл деректерде елеулі қателіктерге әкеледі. Зерттеудің мақсаты-олардың физикалық және математикалық негізділігін анықтаудың жанама әдістерін талдау. Ауылшаруашылық жерлерін болжау мен басқаруды жақсарту үшін фотосинтетикалық белсенді сәулеленуді тиімді пайдалануды бағалаудың сандық әдістерін әзірлеу қажеттілігі атап өтілді.

**Түйін сөздері:** радиациялық баланс, фотосинтетикалық белсенді радиация, ауыл шаруашылығы жерлері, эмпирикалық модельдер, жартылай эмпирикалық модельдер, климаттық көрсеткіштер, географиялық көрсеткіштер, математикалық модельдеу, табиғи ұқсастықтар.

## METHODS FOR DETERMINING THE RADIATION BALANCE OF SOIL AND VEGETATION COVER OF AGRICULTURAL LANDS

**Zh.S. Mustafayev** *Doctor of Technical Sciences, Professor*

*JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: z-mustafa@rambler.ru*

In this article, an analysis of calculation methods for determining the radiation balance and photosynthetically active radiation of soil and vegetation cover of agricultural land is conducted. The lack of continuous actinometric observations of solar radiation and radiation balance at meteorological stations in the Eurasian region leads to the widespread use of empirical and semi-empirical models based on climatic and geographical indicators. Mathematical models based on climatic indicators, which vary in spatial and temporal aspects and are formed on the basis of the principle of natural analogies, provide reliable and accurate data. However, calculation methods that use geographical indicators do not have physical and mathematical meaning, resulting in significant errors in the data. The aim of the research is to analyze indirect methods to identify their physical and mathematical justification.

The need for the development of quantitative methods for assessing the effective use of photosynthetically active radiation to improve forecasting and management of agricultural land is emphasized.

**Keywords:** radiation balance, photosynthetically active radiation, agricultural land, empirical models, semi-empirical models, climatic indicators, geographical indicators, mathematical modeling, natural analogies.

**Сведения об авторе /Автор туралы мәліметтер/Information about author:**

**Мустафаев Жумахан Сулейменович**– профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтоведения и проблем природопользования АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ул. Пушкина, 99, *z-mustafa@rambler.ru*

**Мустафаев Жумахан Сулейменович**– профессор, техникалық ғылымдарының докторы, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері қауіпсіздігі институты» АҚ ландшафттану және табиғатты пайдалану мәселелері зертханасының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Пушкин к-і, 99, *z-mustafa@rambler.ru*

**Mustafayev Zhumakhan** - Doctor of Technical Sciences, Professor , Chief Researcher, Laboratory of Landscape Science and Environmental Management Problems of JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, 99, Pushkin str, *z-mustafa@rambler.ru*