

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

¹Иващук О.А., ¹Федоров В.И., ¹Гончаров Д.В.

¹Институт инженерных технологий и естественных наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассмотрена система оценивания сельскохозяйственных территорий, реализующий данную систему алгоритм. Описываемая система оценивания позволит формировать научную обоснованность и результативность управленческих решений за счет проведения агроэкологического зонирования сельскохозяйственных территорий. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-20016).

Ключевые слова. оценка, сельскохозяйственные территории, повышение урожайности, парниковый эффект, зонирование, алгоритм оценки.

DEVELOPMENT OF A METHOD AND ALGORITHM FOR ASSESSING AGRICULTURAL TERRITORIES IN THE CONTEXT OF THE DYNAMICS OF THE GREENHOUSE EFFECT

¹Ivashchuk O.A., ¹Fedorov V.I., ¹Goncharov D.V.

¹Institute of Engineering Technology and Natural Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

Abstract. In this article the system of estimation of agricultural territories, the algorithm implementing this system is considered. The described assessment system will allow to form the scientific validity and effectiveness of management decisions by conducting agroecological zoning of agricultural territories. The research was carried out with the financial support of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-11-20016).

Keywords. assessment, agricultural territories, yield increase, greenhouse effect, zoning, estimation algorithm.

Одной из актуальных и широко обсуждаемых глобальных экологических проблем современного общества является парниковый эффект (ПЭ), влияние которого на состояние окружающей среды усиливается с развитием производственных, сельскохозяйственных технологий, а также с уменьшением площадей лесных массивов. Главным фактором, влияющим на динамику ПЭ, является концентрация в атмосфере парниковых газов (ПГ), прежде всего углекислого газа (CO₂), задерживающих тепловое излучение и способствующих климатическим изменениям: повышение температуры, разрушение озонового слоя и т.п. Однако существует вторая сторона, крайне важная для таких стран, большая часть территорий которых относится к зонам рискованного земледелия (Россия, Польша, Чехия, Германия Канада), связанная с влиянием ПЭ на гумусовое состояние почвы и увеличение фотосинтетической активности растений [1].

Анализ литературы указывает на отсутствие методов и алгоритмов комплексной оценки сельскохозяйственных территорий относительно концентрации парниковых газов. Однако анализ российских и международных публикаций показал, что в последние годы увеличилось число научных исследований в направлении таких задач как:

- моделирование изменений климата [2];
- расчет и прогнозирование концентраций парниковых газов как от техногенных, так и от природных источников [3];
- модернизация технологических процессов для обеспечения снижения выбросов парниковых газов в атмосферу [4];
- использование альтернативных источников энергии [5].

На основе вышесказанного возникает необходимость проведения исследований по возможности адаптации сельскохозяйственных территорий на основе проведения их комплексной оценки при изменении концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы с определением научно

обоснованных мероприятий, способствующих увеличению урожайности и/или восстановлению гумусового слоя почвы.

Предлагается осуществлять комплексную оценку сельскохозяйственных территорий, с точки зрения влияния динамики концентрации ПГ на фотосинтетическую активность сельскохозяйственных растений, так и с точки зрения динамики эмиссии углекислого газа почвой. Данный подход позволит обеспечить реализацию своевременных и объективных решений по территориальному зонированию сельскохозяйственных земель при высадке растений.

Учитывая необходимость операций с большим количеством разнородных параметров, предлагается использование аппарата нечеткой логики. Текущее или прогнозное состояние рассматриваемой территории с точки зрения ее зонирования для процессов растениеводства с учетом влияния ПЭ можно представить в виде лингвистической переменной:

$$\{AtmGG, T, U, G, M\}, \quad (1)$$

где $AtmGG$ – лингвистическая переменная, которая отражает состояние сельскохозяйственной территории в условиях динамики ПЭ, T – соответствующее базовое терм-множество, которое может быть представлено как нечеткое множество на множестве U – множество характеристик, для определения концентрации CO_2 к определенному значению, G – синтаксические правила для образования новых значений $AtmGG$, которые не содержатся в базовом множестве T , M – синтаксические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, образованные синтаксическими правилами G .

Для получения оценки влияния динамики ПГ на сельскохозяйственные территории предлагается осуществлять комплексную оценку, таким образом переменная $AtmGG$ будет являться составной:

$$AtmGG = (AtmGG_{\text{погл}}, AtmGG_{\text{урож}}), \quad (2)$$

где $AtmGG_{\text{погл}}$ – лингвистическая переменная, которая описывает состояние территории с точки зрения почвенной эмиссии в условиях динамики ПЭ.

$AtmGG_{\text{урож}}$ – описывает состояние территории с точки зрения фотосинтетической активности сельскохозяйственных растений в условиях динамики ПЭ. Данные переменные имеют следующий вид:

$$\{AtmGG_{\text{погл}}, T_{\text{погл}}, U_{\text{погл}}, G_{\text{погл}}, M_{\text{погл}}\}, \quad (3)$$

$$\{AtmGG_{\text{урож}}, T_{\text{урож}}, U_{\text{урож}}, G_{\text{урож}}, M_{\text{урож}}\}, \quad (4)$$

где $T_{\text{погл}}$ и $T_{\text{урож}}$ – множества, определяющие значения лингвистических переменных $AtmGG_{\text{погл}}$ и $AtmGG_{\text{урож}}$. $T_{\text{погл}}$ и $T_{\text{урож}}$ – нечеткие переменные на числовом множестве $U_{\text{погл}}$ и $U_{\text{урож}}$, описывающим уровень почвенной эмиссии и фотосинтетическую активность сельскохозяйственных растений в условиях динамики ПЭ, соответственно.

Проведение оценки влияния концентрации ПГ определяется на основе оценок влияния различных загрязняющих веществ. Предлагается использовать $CO_{2\text{экв}}$, так как двуокись углерода оказывает наибольшее влияние и характеризуется значительной концентрацией в атмосфере.

Для осуществления комплексной оценки состояния приземного слоя атмосферы с точки зрения минерализации гумусового слоя, которая необходима для принятия решений по зонированию сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ введем следующие термы:

$$T_{\text{погл}} = \{ T_{\text{погл}1}, T_{\text{погл}2}, T_{\text{погл}3}, T_{\text{погл}4}, T_{\text{погл}5} \}, \quad (5)$$

где $T_{\text{погл}1}$ = «наиболее эффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $35,47 \pm 0,05$ и $55,42 \pm 0,07$ моль CO_2 $m^{-2} c^{-1}$.

$T_{\text{погл}2}$ = «эффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $16,58 \pm 0,05$ и $35,47 \pm 0,07$ моль CO_2 $m^{-2} c^{-1}$.

$T_{\text{погл}3}$ = «умеренная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $6,76 \pm 0,08$ и $16,58 \pm 0,09$ моль CO_2 $m^{-2} c^{-1}$.

$T_{\text{погл}4}$ = «низкая», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $0,58 \pm 0,08$ и $6,76 \pm 0,06$ моль CO_2 $m^{-2} c^{-1}$.

$T_{\text{погл}5}$ = «не эффективная», такая оценка эмиссии углекислого газа почвой дается, когда скорость дыхания почвы составляет $0,26 \pm 0,04$ и $0,58 \pm 0,07$ моль CO_2 $m^{-2} c^{-1}$.

Для описания концентрации $CO_{2\text{экв}}$ в приземном слое атмосферы с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза сельскохозяйственных растений в условиях динамики ПЭ можно использовать следующие термы:

$$T_{\text{урож}} = \{ T_{\text{урож}1}, T_{\text{урож}2}, T_{\text{урож}3}, T_{\text{урож}4}, T_{\text{урож}5} \}, \quad (6)$$

где $T_{урож1}$ = «наиболее эффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация устанавливается в диапазоне 1500ppm – 3000ppm.

$T_{урож2}$ = «эффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация устанавливается в диапазоне 1000-1500ppm.

$T_{урож3}$ = «умеренная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация устанавливается в диапазоне 400 - 1000ppm.

$T_{урож4}$ = «низкая», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация устанавливается в диапазоне 300 – 400ppm.

$T_{урож5}$ = «не эффективная», такая оценка концентрации ПГ в приземном слое атмосферы дается, когда концентрация устанавливается ниже показателя в 300ppm.

Для осуществления комплексной оценки сельскохозяйственной территории относительно концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы в целях получения наибольшей урожайности растений введем следующие термины:

$$T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\} \quad (7)$$

где T_1 = «Максимальная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $AtmGG_{урож}$ = «наиболее эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $AtmGG_{погл}$ = «наиболее эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может использоваться для выращивания растений с получением наибольшей урожайности.

T_2 = «Высокая продуктивность», когда оценка уровня фотосинтетической активности растений $AtmGG_{урож}$ = «эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $AtmGG_{погл}$ = «эффективная» или, когда одна из оценок принимает значение «эффективная», а другая оценка «наиболее эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть эффективно использована для возделывания культурных растений с получением более высокой урожайности.

T_3 = «Умеренная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $AtmGG_{урож}$ = «умеренная» или «эффективная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $AtmGG_{погл}$ = «умеренная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть использована для возделывания культурных растений с получением урожайности выше среднего уровня.

T_4 = «Низкая продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $AtmGG_{урож}$ = «умеренная» или «низкая» и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $AtmGG_{погл}$ = «умеренная» или «эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория может быть использована для возделывания культурных растений, нечувствительных к увеличению концентрации CO_2 .

T_5 = «Минимальная продуктивность», когда оценка с точки зрения влияния на уровень фотосинтеза растений $AtmGG_{урож}$ = «низкая» или «умеренная», и оценка с точки зрения эмиссии верхнего гумусового слоя $AtmGG_{погл}$ = «низкая» или «не эффективная». При такой оценке сельскохозяйственная территория рекомендуется высаживание однолетних растений для минерализации гумусового слоя почвы.

Для получения комплексной оценки и осуществления нечеткого вывода о состоянии сельскохозяйственных территорий относительно концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы необходимо построить следующие наборы логических правил:

$$\begin{aligned} &\text{если } (AtmGG_{урож} = T_{урож1}) \text{ и } (AtmGG_{погл} = T_{погл1}) \\ &\text{или } (AtmGG_{урож} = T_{урожi}) \text{ и } (AtmGG_{погл} = T_{поглj}) \end{aligned} \quad (8)$$

то $AtmGG = T_k$,

где $T_{урожi}$, $T_{поглj}$ – термины («чистая», «низкая», «умеренная» и т.д.) входящие в состав базовых терм множеств $T_{урож}$, $T_{погл}$ размерностью i, j . $T_k \in T$ из (7), $k=1, \bar{5}$.

В результате комплексной оценки сельскохозяйственной территории, полученной в результате нечеткого вывода относительно влияния на фотосинтетическую активность концентрации парниковых газов и относительно эмиссии CO_2 из почвы - $AtmGG = T_k$.

Степень соответствия множеств $SS_{урож}$ и $SS_{погл}$ термам $T_{урожi}$ и $T_{поглj}$ определяется функциями принадлежности $\mu_{T_{урожi}}$, $\mu_{T_{поглj}}$, специально составленными для данного случая. На основе мнений экспертов данной области, нормативных документов и официальной статистики определяется вид и параметры данных функций.

Алгоритм описанного метода комплексной оценки сельскохозяйственных территорий представлен на рисунке 1

В начале данного алгоритма происходит сбор данных о концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы и уровне эмиссии почвы, данные могут быть получены в результате проведения полевых измерений, так и при моделировании прогнозного уровня. Следующим этапом является актуализация систем нечеткого вывода на основе полученных данных. Далее на основе значений лингвистических переменных $AtmGG_{урож}$ и $AtmGG_{погл}$ происходит вывод нечетких промежуточных оценок $AtmGG_{урож}$ и $AtmGG_{погл}$. Запись результатов оценки и показателей концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы позволяет в дальнейшем вырабатывать научно обоснованные управленческие решения. На последующих этапах происходит получение итоговой комплексной оценки относительно исследуемой сельскохозяйственной территории. В случае получения оценок «Максимальная продуктивность» или «Высокая продуктивность» происходит переход к этапу выбора сельскохозяйственной культуры, имеющей наибольшую урожайность при данной концентрации парниковых газов, и составлению агротехнического плана выращивания на основе почвенных и метеорологических показателей, иначе происходит выбор культуры и составление агротехнического плана по минерализации гумусового слоя почвы. На последнем этапе происходит визуализация результатов оценки с использованием ГИС-средств.

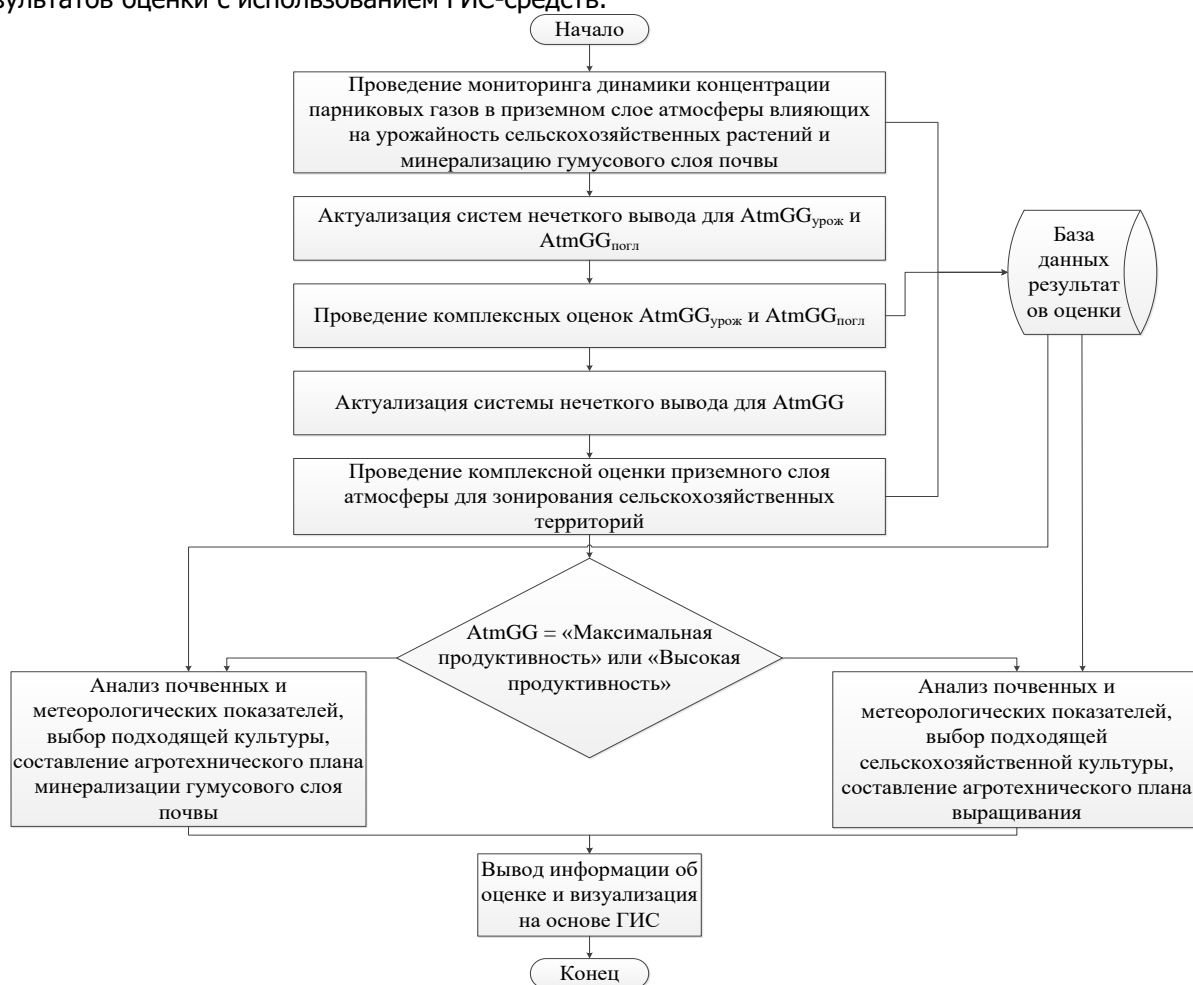


Рисунок 1 – Алгоритм метода комплексной оценки концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы

Описанный метод, основанный на аппарате нечеткого моделирования и средств ГИС, может быть эффективно использован для проведения комплексной оценки текущего и прогнозного состояния сельскохозяйственных территорий с точки зрения перспективы высадки растений, а также для формирования научно обоснованных решений по зонированию территорий относительно динамики парникового эффекта в целях повышения урожайности.

Список использованных источников

1. Ivashchuk O. A., Fedorov V. I., Goncharov D. V. Approaches to the Development of an Automated Control System for the Adaptation of Agricultural Areas under the Changing Greenhouse Effect //Mathematical Statistician and Engineering Applications. – 2022. – Т. 71. – №. 3s2. – С. 948.

2. Орлова И.В. / Функциональное зонирование земель сельскохозяйственного назначения для целей сбалансированного природопользования / Фундаментальные исследования №5, 2014
3. Клементс, Р., Дж. Хэггер, А. Кезада, и Дж. Торрес (Clements, R., J. Hagggar, A. Quezada, and J. Torres, 2011). Технологии по адаптации к изменению климата – Сельскохозяйственный сектор. Кс. Чжу (X. Zhu) (Ред.). Центр ЮНЕП в Рисо, Роскилде (Risø Centre, Roskilde), 2011
4. Radpour, S., Gemechu, E., Ahiduzzaman, M., Kumar, A. Developing a framework to assess the long-term adoption of renewable energy technologies in the electric power sector: The effects of carbon price and economic incentives (2021) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, статья № 111663
5. Kenneth Hansen, Brian Vad Mathiesen, Iva Ridjan Skov, Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 102, 2019, Pages 1-13, ISSN 1364-0321.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-20016).