

Научное сообщение

УДК 631.67:633

**КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ, НАКОПЛЕННОЙ В РАСТИТЕЛЬНОМ БИОЦЕНОЗЕ**

**А. П. Герайзаде<sup>1</sup>, М. А. Мазиров<sup>2</sup>, Ч. Г. Гюлалыев<sup>3</sup>, С. А. Кочарли<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт почвоведения и агрохимии национальной академии наук Азербайджана, AZ1073, г. Баку, ул. Маммед Рахим, 5*

*E-mail: gerayzade-akif@rambler.ru*

<sup>2</sup> *РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, корпус 3*

*E-mail: mazirov@mail.ru*

<sup>3</sup> *Институт географии национальной академии наук Азербайджана, AZ1043, г. Баку, проспект Г. Джавида, 31*

*E-mail: ch\_gulaliyev@yahoo.com*

*Поступила в редакцию 06 июня 2015 г., принята к публикации 08 сентября 2015 г.*

В работе сделана попытка применить информацию по количеству энергии, накопленной в различных частях растений, для определения полноты использования солнечной энергии растениями и расчета норм и сроков полива. Для определения теплоты сгорания горючих материалов использовалась самоуплотняющаяся калориметрическая бомба, позволяющая установить величину энергии, аккумулированную в единице веса различных растительных материалов. Данная величина применяется для определения как коэффициента полезного использования солнечной энергии растениями, так и нормы воды, необходимой для созревания растительности. Предпринята попытка использовать величину теплоты сгорания биологического урожая при расчете объема поливной воды, необходимого для производства конкретной величины урожая. Решение указанной задачи создаст условия для составления проектов орошения с минимальным количеством поливной воды. Для увеличения достоверности предлагается также использовать данные о теплоаккумуляции растений по фенологическим фазам и результаты применения соответствующей агротехники для повышения урожая. Образцы растений для сжигания отбирались с участков площадью 1 м<sup>2</sup> в шахматном порядке, при этом учитывалось проективное покрытие угодий. Растения высушивались при комнатной температуре, измельчались, брикетировались и сжигались. Брикеты составлялись как из растений целиком, так и из плодов, листьев, стволов, корней по отдельности. На основе полученных данных вычислялось оптимальное количество воды, необходимое для эвапотранспирации растениями соответствующего угодья. Таким образом, определив величину теплотворных способностей каждого вида сельскохозяйственных культур, можно установить их оптимальное водопотребление.

**Ключевые слова:** калориметрическая бомба, почва, растение, экология, энергия, термодинамическое состояние, градиент температуры.

**CALORIMETRIC DETERMINATION OF THE ENERGY STORED IN BIOCENOSIS**

**A.P. Gerayzade<sup>1</sup>, M.A. Mazirov<sup>2</sup>, Ch.G. Gulaliyev<sup>3</sup>, S.A. Kocharli<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Soil Science and Agro Chemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences, 5 Memmed Rahim str., Baku, AZ1073, Azerbaijan Republic*

*E-mail: gerayzade-akif@rambler.ru*

<sup>2</sup> *Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,*

*49/3 Timiryazev str., Moscow, 127550, Russia,*

*E-mail: mazirov@mail.ru*

<sup>3</sup> *Institute of Geography, Azerbaijan National Academy of Sciences, 31 Prosp. G. Javida, Baku, AZ1073, Azerbaijan Republic,*

*E-mail: ch\_gulaliyev@yahoo.com*

The paper attempts to use information on the amount of energy accumulated in different parts of plants to determine the completeness of the utilization of solar energy by plants and calculation rules and terms of watering. To determine the heat of combustion of combustible materials the self-sealing calorimetric bomb was used. It allows to set the amount of energy stored per unit of weight of the various plant materials.

This value is used to determine the coefficient of efficiency of solar power, as well as water rates required for plant growth. An attempt has been made to use the calorific value of crops in the calculation of irrigation water needed to produce a specific quantity of the crop. The results of this work will create the conditions for drawing up irrigation projects where the minimum amount of irrigation water will be used. To increase the reliability of the proposed usage of the data it is proposed to measure heat accumulation of plants at different phenological phases and also to use the information on soil management. Plant samples were collected from an area of 1 m<sup>2</sup>. The plants were dried at room temperature, crushed, briquetted and burned. Briquettes were prepared both from whole plants or from fruit, leaves, stems, roots separately. Based on the data we calculated the optimum amount of water needed for plant evapotranspiration. Thus, determining the calorific value of each type of crop, their optimum water consumption could be set.

*Keywords:* bomb calorimeter, soil, crops, ecology, energy, thermodynamic state, the temperature gradient.

## ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент полезного использования солнечной энергии растительным покровом определяется как отношение количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза, к количеству поглощенной энергии. Для решения задач по повышению эффективности фотосинтеза предлагается системный эколого-энергетический анализ воздействия всего комплекса лимитирующих факторов, создающих основу для моделирования экологической системы, включающей почву, растения и атмосферу. Одно из возможных решений указанной задачи требует, во-первых, определения радиационного, теплового и водного режимов данной системы, во-вторых, установления величины и направления утилизации ее энергетического потенциала. Как известно, водопотребление различных видов сельскохозяйственных культур в течение длительного времени является объектом внимания ученых, однако и в настоящий момент исследования данного вопроса продолжают оставаться актуальными. Ограниченность данных затрудняет всестороннее изучение энергетических принципов водопотребления растений. Внедрение энергетических принципов в сельскохозяйственное производство может послужить решению как экономических, так и экологических проблем, поскольку будет способствовать оптимальному использованию воды и солнечной энергии.

Солнечное излучение, являющееся основной природной движущей силой, участвует почти во всех термодинамических явлениях на земле (Волобуев, 1974; Савич и др., 2007; Будыко, 1977). В открытой для энергии и вещества системе «почва – растение – атмосфера» термодинамическое состояние постоянно меняется. Для построения энергетической модели в системе «почва – растение – атмосфера» следует принимать во внимание циклический характер поступления солнечной энергии на земную поверхность.

На входе и выходе системы предлагается учитывать количество расхода тепла и влаги. Для достижения цели предлагается как в полевых, так и в лабораторных условиях определить коэффициенты переноса тепла и влаги в широком диапазоне исходных значений влажности и плотности почв, а также градиентов температуры (Герайзаде, 1982, 1989; Чудновский, 1976). Следует отметить, что исследования в данном направлении встречаются довольно часто (Архангелская, 2007; Герайзаде, 1982; Гюлалыев, 2010; Мазиров, 2005; Чудновский, 1976 и др.). Что касается применения энергетических принципов в сельском хозяйстве, то они не особенно распространены и если встречаются, то относятся в основном к следующим областям исследований: энергетика почвообразования (Волобуев, 1974), оценка плодородия почв (Савич, Сычев, Замараев и др., 2007), распределение энергии в системе «почва – растения – атмосфера» (Герайзаде, 1979, 1989),

энергетические основы водного режима растений в посевах (Ничипарович, Чимора, 1963), энергетическая оценка экологических материалов (Goley, 1961), энергетическая оценка запасов и баланса компостов в экологических системах (Olson, 1963), аккумуляция энергии в лесных массивах (Ovington, Heitcamp, 1963), изучение хлорофилла и энергии прерий и саванн (Ovington, Lawrens, 1967).

В настоящем сообщении изложены результаты калориметрических исследований растений разных биоценозов и теплофизические характеристики почв.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются сухостепные засушливые районы Ширванской степи Республики Азербайджан, где распространены, в основном, сероземные типы почв и ведение сельского хозяйства невозможно без орошения.

Метод базируется на определении энергии, аккумулированной в растениях на основных фенологических фазах развития, с учетом общей суммарной солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, и ее распределения в системе «почва – растение – атмосфера».

Для экспериментального определения коэффициента теплопереноса применялась методика, описанная в работе А. П. Герайзаде (1982). Для определения энергии, аккумулированной в растительном веществе биоценоза, использовался калориметр, при помощи которого устанавливалась теплотворная способность горючих материалов (Герайзаде, 1989).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование разнообразных процессов в экосистемах с энергетической точки зрения позволяет выявить закономерности в преобразованиях солнечной энергии на земной поверхности, а также определить компоненты тепловлагопереноса в различных условиях среды произрастания растительных биогеоценозов.

Как известно, при недостаточной влагообеспеченности растений большая часть энергетического баланса затрачивается

на нагревание почвенного покрова, что создает благоприятные условия для усиления процесса турбулентного теплообмена между поверхностью почвы и атмосферой. В работе А. А. Ничипарович и С. Н. Чмора (1963) на основе уравнения фотосинтеза рассчитано количество воды, испаряющейся при синтезе единицы веса любого органического вещества. Данное количество составляет 637,2 кг воды на образование 1 кг органического вещества. Однако авторами при помощи калориметрических определений установлено, что каждое растение использует солнечный свет в соответствии со своим энергетическим потенциалом. В связи с этим предлагается уравнение, учитывающее оптимальную величину водопотребления и эффективность использования солнечной энергии для каждого вида растений. Уравнение выглядит следующим образом:

$$E = (Q \times 100) / (L \cdot \alpha), \quad (1)$$

где  $E$  – вес воды, затраченной на транспирацию конкретным видом растений, кг;  $Q$  – энергия, накопленная единицей сухого веса растений, кал·г<sup>-1</sup> или кал·см<sup>-2</sup>;  $L$  – скрытая теплота парообразования, кал;  $\alpha$  – эффективность использования солнечной энергии растительным покровом, безразмерная величина.

Из формулы (1) следует, что при равных энергетических и водных потенциалах окружающей среды различные культуры по-разному используют приходящую солнечную радиацию и энергетический потенциал среды обитания. Авторы предлагают также при составлении уравнения теплового баланса учитывать энергию, накопленную растительным покровом:

$$R = P + V + LE + \alpha M, \quad (2)$$

где  $R$  – радиационный баланс, ккал·см<sup>-2</sup>;  $P$  – турбулентный теплообмен между поверхностью почвы и атмосферой, ккал·см<sup>-2</sup>;  $V$  – теплообмен между поверхностью почвы и литосферой, ккал·см<sup>-2</sup>;  $LE$  – энергия эвапотранспирации, ккал·см<sup>-2</sup>;  $M$  – конечный продукт фотосинтеза, г·см<sup>-2</sup> или ц·га<sup>-1</sup>;  $\alpha$  – коэффициент полезного использования

энергии окружающей среды, безразмерная величина.

Эффективность данных исследований в значительной степени зависит от комплексного системного подхода к изучению в среде «почва – растение – атмосфера» таких термодинамических факторов, как теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, термовлагопроводность, термоградиентный коэффициент, энергоемкость и т.д. Несмотря на существенное количество аналогичных исследований, в целом они проводились отдельно для различных объектов и процессов, что привело к некоторым просчетам при определении основ технологии производства сельскохозяйственной продукции. В

процессе их разработки нередко учитываются только частные характеристики объектов.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента температуропроводности от влажности и плотности сложения сероземной почвы. Как следует из рисунка, коэффициент температуропроводности возрастает при увеличении влажности почвы от воздушно-сухого состояния до 20–22% и, пройдя через максимум, снижается при дальнейшем повышении влажности.

Результаты калориметрических определений энергии, аккумулированной различными растительными веществам, представлены в таблице 1, из которой видно, что каждое растение имеет характеристическую энергоаккумуляцию.

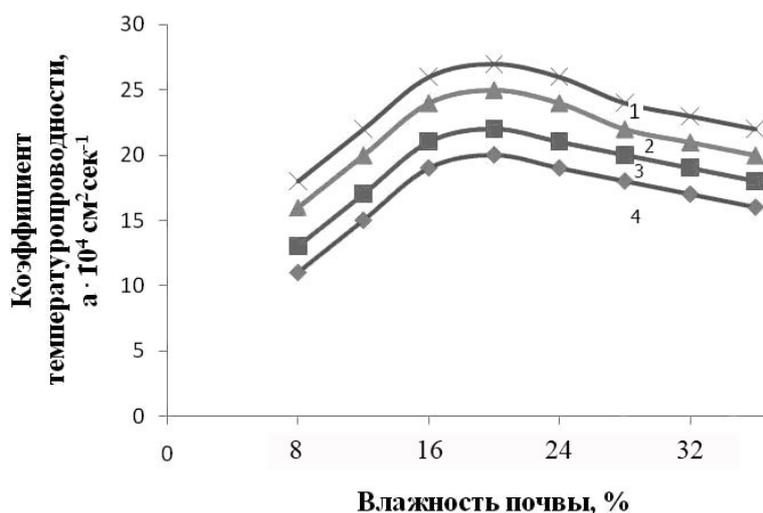


Рис. 1. Изменение коэффициента температуропроводности почвы в зависимости от ее влажности и плотности сложения (1 – 1,4 г · см<sup>-3</sup>; 2 – 1,3 г · см<sup>-3</sup>; 3 – 1,2 г · см<sup>-3</sup>; 4 – 1,1 г · см<sup>-3</sup>)

Таблица 1. Энергия, накопленная в 1 г растений биоценоза (ккал · г<sup>-1</sup> воздушно-сухого растительного вещества)

Растения	Энергия	Растения	Энергия
Пшеница безостая ( <i>Lutescens</i> )	4070	Соевые ( <i>Glycine max</i> )	5520
Пшеница (Украинка) ( <i>Triticum</i> )	3980	Рис ( <i>Oryza</i> )	3750
Кукуруза ( <i>Zea máys</i> )	4090	Ячмень ( <i>Hordeum</i> )	3510
Люцерна ( <i>Medicágo</i> )	4185	Морковь ( <i>Daucus</i> )	4920

Среди представленных в таблице растений наибольшей энергоаккумуляцией характеризуются соевые (5520 ккал·кг<sup>-1</sup>), а наименьшей – ячмень (3510 ккал·кг<sup>-1</sup>). Разница между максимальной и минимальной величинами в данном случае составляет 2010 ккал·кг<sup>-1</sup>, т.е. около 40%.

На рисунке 2 представлена динамика роста градиента температуры калориметрической системы в главный период сжигания листьев, стеблей и корней растительных образцов.

Как следует из рисунка, температуры экспоненциально возрастают, стремясь к постоянному значению, которое зависит как

от типа растений, так и от количества исследуемого образца. Удельная энергоаккумуляция термостатирующей системы определялась на основании повышения градиента температуры при сжигании 1 г соответствующей растительности (кал·г<sup>-1</sup>).

Зависимость величины поднятия температуры от веса растительной массы проиллюстрирована на рисунке 3, где представлены графики изменения разности температуры относительно навески растительного материала. Зависимость является линейной.

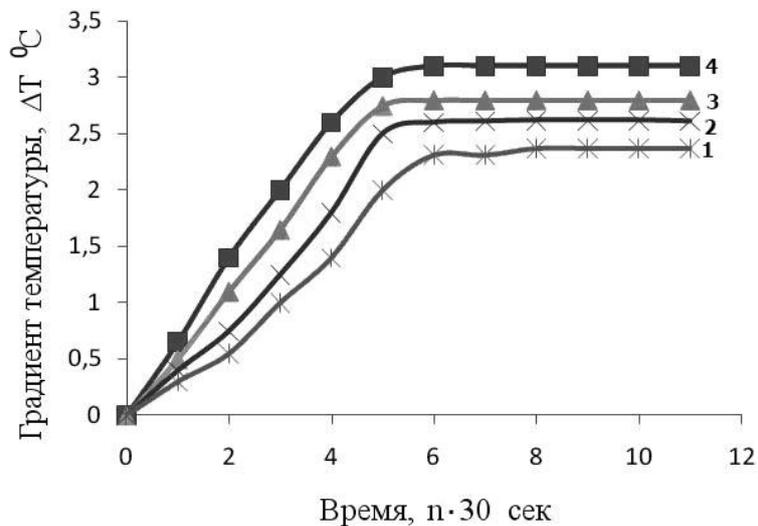


Рис. 2. Временная зависимость изменения температуры калориметрической системы в главный период сжигания образцов растений: 1 – засимья (1,3926 гр.); 2 – бородач (1,5026 гр.); 3 – верблюжья колючка (1,5582 гр.); 4 – пшеница безостая (1,7350 гр.)

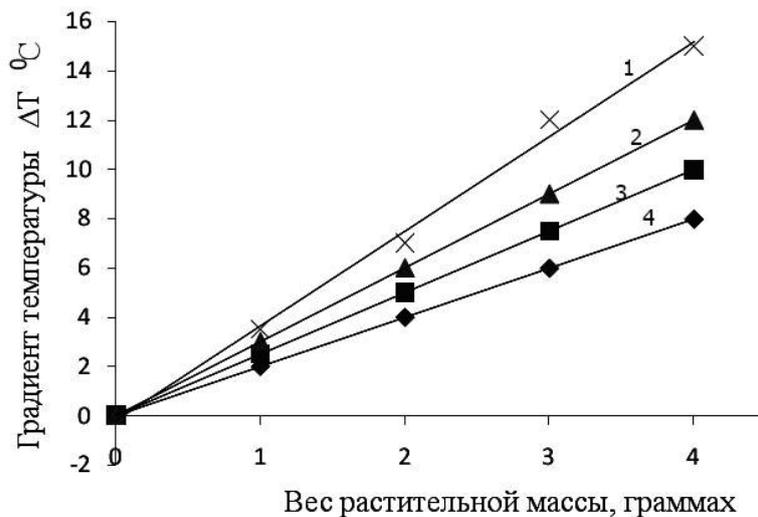


Рис. 3. Зависимость роста температуры термостатирующей системы от навески растительного материала (1, 3 – пшеница безостая; 2, 4 – пшеница «Украинка»; 3, 4 – через 2 мин.; 1, 2 – через 8 мин.)

В энергетическом балансе земной поверхности существенное количество тепла расходуется на процессы испарения, величина которого зависит от проективного покрытия растительности, влажности и температуры почвы и воздуха, а также от интенсивности турбулентного обмена в приземном слое атмосферы.

Чтобы составить модели использования солнечной радиации и определить расходы энергии и вещества, поступающих в систему «почва – растение – атмосфера», а также для обеспечения нормальной жизнедеятельности растений сельскохозяйственного угодья следует подойти к решению поставленной задачи с энергетической точки зрения функционирования данной системы.

В результате калориметрических измерений установлено, что количество энергии, накопленной в органическом веществе разных частей растений (плодов, листьев, стволов, корней и т.д.), различно. Сравнивая количество синтезированного органического вещества растительного происхождения и количество энергии,

накопленной на 1 га растительного биогеоценоза, с количеством поступающей солнечной энергии, авторы обнаружили, что в условиях Ширванской степи только 1–3% поступающей световой энергии запасается в растительном биогеоценозе.

### ВЫВОДЫ

На основе колориметрических исследований установлено, что различные виды растений использует лучистую энергию солнца в соответствии со своим энергетическим потенциалом.

Предлагается уравнение связи между энергией, аккумулированной растительным покровом, суммарным водопотреблением и полной энергией, потребленной растительным сообществом.

Установлено, что энергия, аккумулированная в единице веса растительного вещества, зависит не только от вида и сорта растений, но и по-разному накапливается в различных частях растения (зерне, листьях, стволах, корнях).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архангелская Т.А. 2004. Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья // Почвоведение. № 3. С. 332–342.
- Волобуев В.Р. 1974. Введение в энергетiku почвообразования. М.: Наука. 128 с.
- Савич В.И., Сычев В.Г., Замараев А.Г., Сюняев Н.К., Никольский Ю. 2007. Энергетическая оценка плодородия почв. М., Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. 500 с.
- Будыко М.И. 1977. Глобальная экология. М.: Мысль. 327 с.
- Герайзаде А.П. 1982. Термо- и влагоперенос в почвенных системах. Баку: Элм. 157 с.
- Герайзаде А.П. 1989. Преобразования энергии в системе «почва – растение – атмосфера». Баку: Элм. 160 с.
- Гюлалыев Ч.Г. 2010. Зависимость удельной электропроводности почвы от температуры // Изв. Высш. учеб. заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет. № 4. С. 43–45.
- Чудновский А. Ф. 1976. Теплофизика почвы. М.: Наука. 353 с.
- Ничипорович А.А., Чмора С.Н. 1963. Энергетические основы водного режима растений в посевах // Водный режим растений в связи с обменом веществ и продуктивностью. М. С. 80–90.
- Мазиров М.А. 2005. Температурный режим комплексного почвенного покрова Владимирского ополья // Почвоведение. № 7. С. 832–843.
- Goley F.B. 1961. Energy values of ecology materials // Ecology, 42(3), pp. 581–584.
- Olson J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems // Ecology, 44(2), pp. 322–332.
- Ovington J.D., Heitkamp D. 1960. The accumulation of energy in forest plantations in Britain // Ecology, 41(3), pp. 581–584.
- Ovington J.D., Lawrens D.B. 1967. Comparative chlorophyll and energy studies of prairie savanna oak-wood and maize field ecosystems // Ecology, 48(4), pp. 515–554.
- Ovington J.D., Heitkamp D. 1960. The accumulation of energy in forest plantations in Britain // Ecology, 41(3), pp. 581–584.

