




## Аккумуляция солнечной энергии зерновыми культурами




Геннадий С. Кудряшев <sup>1</sup>	<a href="mailto:kudryshev@list.ru">kudryshev@list.ru</a>	 0000-0001-7949-3052
Инна В. Дыкус <sup>1</sup>	<a href="mailto:inna.dykus@mail.ru">inna.dykus@mail.ru</a>	 0000-0002-7189-5652
Сергей В. Батищев <sup>1</sup>	<a href="mailto:total.irk@yandex.ru">total.irk@yandex.ru</a>	 0000-0001-5399-5652

<sup>1</sup> Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск, Иркутский район, п. Молодежный, 1А, 664038, Россия

**Аннотация.** Иркутская область богата плодородными землями, которая пригодна для сельскохозяйственной деятельности. Общая посевная площадь сельскохозяйственных культур в Иркутской области составляет 759 тыс. га (2019 г.). Главенствующее место занимают зерновые и зернобобовые культуры, общая площадь посевов которых составляет 540 тыс. га (71,1%). В их структуре первое место принадлежит яровой пшенице, второе место занимает ячмень яровой, третье — овес. В связи с необходимостью укрепления кормовой базы возрастающую роль играют кормовые культуры. Урожайность зависит от многих факторов, в первую очередь, от погодных условий. Для фотосинтеза растительным культурам необходим солнечный свет. По количеству солнечных дней Иркутская область не уступает Крыму. Солнечных дней в году 221. При грамотном прогнозировании метеорологических условий можно достичь высокого урожая. Для оценки поглощения посевами зерновых культур солнечной энергии был рассмотрен радиационный баланс. Фотосинтетические пигменты растений поглощают свет и преобразуют его из солнечной энергии в химическую, благодаря чему происходит активный рост растений. Для прогноза будущего урожая необходимо рассчитать интенсивность и продолжительность солнечной радиации, которая является важнейшим условием для дальнейшего производства сельскохозяйственной продукции. Было проведено исследование эффективности использования инсоляции в Иркутской области для посева пшеницы. Составлен радиационный баланс, который позволил выявить максимальную солнечную радиацию, благоприятную для роста пшеницы. Для определения величины эффективного излучения были произведены замеры температуры почвы, влажность воздуха, изучены метеорологические условия в Иркутской области.

**Ключевые слова:** радиационный баланс, инсоляция, зерновые культуры, солнечная радиация, урожайность

## Solar energy storage by grain crops

Gennadiy S. Kudryashev <sup>1</sup>	<a href="mailto:kudryshev@list.ru">kudryshev@list.ru</a>	 0000-0001-7949-3052
Inna V. Dykus <sup>1</sup>	<a href="mailto:inna.dykus@mail.ru">inna.dykus@mail.ru</a>	 0000-0002-7189-5652
Sergey V. Batishchev <sup>1</sup>	<a href="mailto:total.irk@yandex.ru">total.irk@yandex.ru</a>	 0000-0001-5399-5652

<sup>1</sup> Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny settlement, 1A, Irkutsk district, 664038, Russia

**Abstract.** Irkutsk region is rich in land that is suitable for agricultural activities. The total sown area of agricultural crops in the Irkutsk region is 759 thousand hectares (2019). The main place is occupied by grain and leguminous crops, the total area of which is 540 thousand hectares (71.1%). In their structure, the first place belongs to spring wheat, the second place is taken by spring barley, the third-by oats. Due to the need to strengthen the feed base, forage crops play an increasing role. Yield depends on many factors, primarily weather conditions. For photosynthesis, plant crops need sunlight. By the number of Sunny days, the Irkutsk region is not inferior to the Crimea. There are 221 Sunny days per year. If weather conditions are correctly predicted, a high yield can be achieved. To assess the absorption of solar energy by grain crops, the radiation balance was considered in this article. Photosynthetic plant pigments absorb light and convert it from solar energy to chemical energy, which results in active plant growth. To forecast the future harvest, it is necessary to calculate the intensity and duration of solar radiation, which is the most important condition for further production of agricultural products. A study was conducted on the effectiveness of using insolation in the Irkutsk region for sowing wheat. The radiation balance was compiled, which allowed us to identify the maximum solar radiation favorable for wheat growth. To determine the amount of effective radiation, measurements were made of soil temperature, air humidity, and meteorological conditions in the Irkutsk region.

**Keywords:** radiation balance, insolation, crops, solar radiation, yield

### Введение

Одной из главных задач сельского хозяйства является получение максимальной урожайности возделываемых культур. Представление о метеорологических условиях в регионе за несколько лет позволяют еще перед посевом спрогнозировать урожайность в предстоящем году. Для этого необходимо проанализировать количество, интенсивность осадков и солнечных дней, влажность и движение воздуха, а также инсоляцию.

Под инсоляцией подразумевают облучение поверхностей солнечной радиацией. Технологии применения солнечной энергии для агропромышленного комплекса решают широкий спектр задач в сфере сельскохозяйственной деятельности. Рост и развитие растений представляют собой процесс усвоения и переработки солнечной энергии, поэтому сельскохозяйственное производство возможно только при условии поступления солнечной энергии на поверхность Земли.

Для цитирования

Кудряшев Г.С., Дыкус И.В., Батищев С.В. Аккумуляция солнечной энергии зерновыми культурами // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 59–63. doi:10.20914/2310-1202-2020-1-59-63

For citation

Kudryashev G.S., Dykus I.V., Batishchev S.V. Solar energy storage by grain crops. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 59–63. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-1-59-63

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Изучить процессы переработки энергии, поступающей от солнечного потока и поглощенной растительными культурами, можно с помощью теоретической оценки эффективности аккумуляции солнца через фотолит [2–4].

Рассмотрим применение солнечной инсоляции на примере сельскохозяйственного предприятия по производству куриных яиц и молочной продукции. Для высокой продуктивности кур-несушек и быстрого набора веса курицами бройлерных пород должно быть организовано разнообразное сбалансированное питание. Для масштабного фермерского хозяйства выгоднее производить корм самостоятельно. Во-первых, качество продукции, во-вторых, финансовая выгода. Получаемое зерно может идти как на корм животным, так и на продажу. Сегодня предприятие получает от одной курицы-несушки до 343 яиц в год. Валовое производство яиц 576 млн шт в год. Мясо кур 2300 т.

Сельскохозяйственное производство начинается с земли. Посевные площади предприятия размещены на территории двух районов (Усольского и Черемховского) и составляют 68,5 тыс. га, в том числе зерновые культуры – 42 тыс. га. Сначала земля использовалась только для выращивания зерна для корма птиц, а затем с расширением производства и освоением новых технологий начали выращивать элитные сорта пшеницы для выпечки хлеба и сдобы [1].

### Материалы и методы

Сбор и обработка данных об инсоляции является основой при оценке возможности использования земель для высадки зерновых культур. Основная культура зернового клина – пшеница. Содержание белка в зерне пшеницы зависит от числа солнечных дней [5–6]. В среднем по России на каждый квадратный метр земли попадает около 2 кВт/сут. В Иркутской области среднегодовое значение инсоляции около 3,75 кВт/м<sup>2</sup> (рисунок 1).

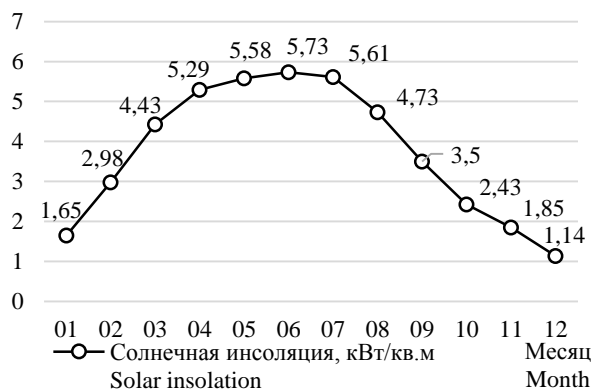


Рисунок 1. Солнечная инсоляция в Иркутской области

Figure 1. Solar insolation in the Irkutsk region

Из рисунка 1 видно, что максимум притока солнечной радиации отмечается с мая по август. Именно в этот период необходимо производить засев. Достаточное количество поглощенного солнечного света благоприятно влияет на процессы роста и развития растений. Количество получаемой растениями солнечной радиации можно регулировать путем создания определенного направления рядов посадки, а также густотой посева. От способа посадки зависит количество будущего урожая, а также производительность кур [4–6].

Количество тепла, получаемого от Солнца земной поверхностью, зависит прежде всего от угла падения солнечных лучей. Солнечное излучение частично поглощается, часть лучей отражается от частиц, взвешенных в воздухе, и достигает земной поверхности в виде рассеянного излучения (рисунок 2). Необходимо принимать во внимание высоту солнца, облачность и альбедо поверхности.

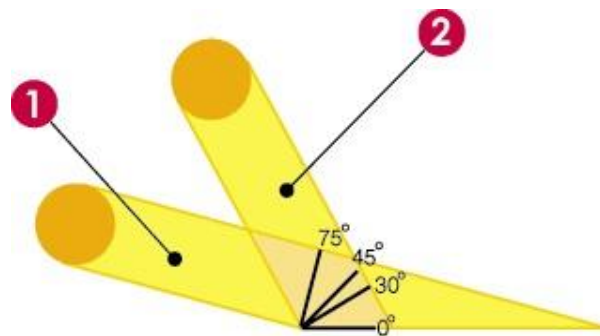


Рисунок 2. Углы падения солнечной энергии

Figure 2. Angles of incidence of solar energy

Из рисунка 2 видно, что при положении солнца во втором варианте солнечная радиация лучше прогревает землю. Когда угол падения лучей составляет 90° тогда достигается максимальное количество солнечной радиации на единицу поверхности земли.

Величина радиационного баланса рассчитывается по формуле

$$R = (Q + q)(1 - a) - I,$$

где  $Q$  – сумма прямой радиации, МДж/м<sup>2</sup>;  $q$  – сумма рассеянной радиации, МДж/м<sup>2</sup>;  $a$  – альбедо, %;  $I$  – эффективное излучение, МДж/м<sup>2</sup> [3].

Суммой прямой солнечной радиации (таблица 1) является суточная или месячная солнечная радиация, которая могла бы поступить в данном географическом пункте на единицу поверхности земли.

По географическим координатам Иркутской области, которые составляют: широта: 52°17'52" с.ш. долгота: 104°17'47", определяем сумму возможной прямой радиации по месяцам.

Падающая на землю суммарная радиация вступает во взаимодействие (отражение, рассеивание, поглощение) с фитоэлементами.

Сумма рассеянной радиации – часть солнечного излучения, потерпевшее рассеяние в атмосфере, дана в таблице 2 [3].

Таблица 1. Распределение месячных сумм прямой радиации на поверхность земли, МДж/м<sup>2</sup>

Table 1.  
Distribution of monthly amounts of direct radiation to the earth's surface, MJ/m<sup>2</sup>

φ <sup>0</sup>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
52	92,9	201,3	373,7	594,7	610,2	691,3	712,0	656,3	496,6	269,0	125,5	71,1

Таблица 2. Распределение месячной суммы рассеянной радиации для Иркутской области, МДж/м<sup>2</sup>

Table 2.  
Distribution of the monthly amount of scattered radiation for the Irkutsk region, MJ/m<sup>2</sup>

φ <sup>0</sup>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
52	78,6	120,4	134,7	148,3	183,4	230,8	210,6	208,3	180,1	166,2	131,4	65,4

Альbedo характеризует отражательную способность поверхности. Альbedo пшеницы в среднем составляет 15–25%. Эффективное излучение представляет собой разность между излучением поверхности почвы и противоизлучением атмосферы. Собственное тепловое излучение атмосферы, направленное к земной поверхности, называется противоизлучением атмосферы [7–8].

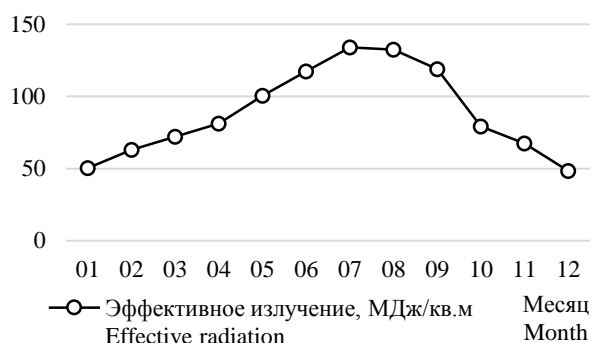


Рисунок 3. Годовой ход эффективного излучения в Иркутской области

Figure 3. Annual progress of effective radiation in the Irkutsk region.

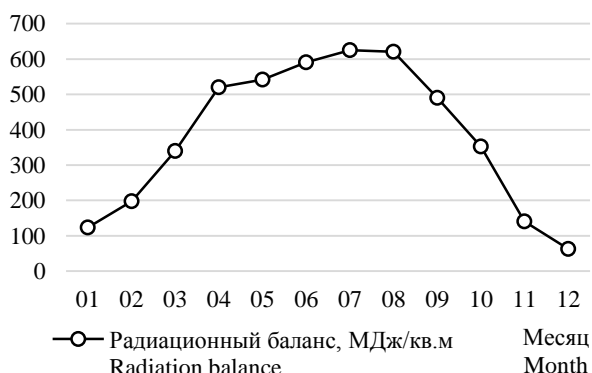


Рисунок 4. Величина радиационного баланса по месяцам в Иркутской области

Figure 4. The value of the radiation balance by month in the Irkutsk region

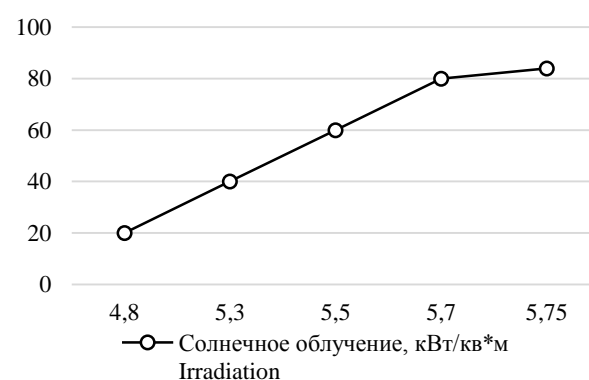


Рисунок 5. Интенсивность фотосинтеза от степени облучения

Figure 5. The intensity of photosynthesis depends on the degree of irradiation.

Определив величину радиационного баланса, можно сделать вывод, что наиболее благоприятный вегетационный период с мая по август.

Эффективность использования солнечной радиации растениями характеризуется КПД, который определяется отношением количества энергии, запасенной в продуктах фотосинтеза к количеству использованной радиации

$$\eta = \frac{q\gamma \cdot 100}{R}, \tag{1}$$

где  $q$  – калорийность растения, ккал/г;  $\gamma$  – фитомассы, г/см<sup>2</sup>;  $R$  – радиационный баланс за вегетационный период, ккал/см<sup>2</sup> [3].

Зависимость КПД  $\eta_n$  пшеницы от падающей и поглощенной радиации можно представить соотношением

$$\eta_n = a_n \cdot \eta_a, \tag{2}$$

где  $a_n$  – функция поглощения радиации пшеницей;  $\eta_a$  – КПД относительно поглощенной радиации, [3].

### Заключение

По результатам расчёта в естественных условиях зерновые культуры за весь период вегетации растут с КПД солнечного излучения около 3,5–3,7% по приходящей и 4,8–5,2% по поглощенной радиации. С ростом интенсивности радиации ускоряется процесс фотосинтеза

за счет увеличения скорости ассимиляции углекислоты (рисунок 4). Под интенсивностью фотосинтеза понимают количество CO<sub>2</sub>, усваиваемое единицей листовой поверхности за единицу времени.

Таким образом, Иркутская область благоприятна для сельскохозяйственной деятельности.

### Литература


- 1 Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Шпак О.Н. Комплексный подход при ресурсоэнергосбережении на предприятии АПК Иркутской области // Вестник ИРГСХА. 2016. № 73. С. 135–140. URL: <http://www.igsha.ru/science/files/v73.pdf>
- 2 Федоров В.М. Теоретический расчет межгодовой изменчивости инсоляции земли с суточным разрешением // Исследования солнечной системы. *Астрономический вестник*. 2016. Т. 50. № 3. С. 233–238. URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/561211722/>
- 3 Смутьский И.И., Кротов О.И. Новый алгоритм расчета инсоляции Земли. Тюмень: Институт криосферы Земли СО РАН, 2015. 38 с.
- 4 Белолюбцев А.И. Адаптация сельского хозяйства с учетом текущих и ожидаемых климатических рисков // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодноклиматическим условиям. Москва: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. С. 11–22.
- 5 Федоров В.М. Широтная изменчивость приходящей солнечной радиации в различных временных циклах // Доклады академии наук. 2015. Т. 460. № 3. С. 339–342. URL: <http://solar-climate.com/pd/SHIROT2015.pdf>
- 6 Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторин А.Н., Кривошеин Ю.О. Моделирование инсоляции на горизонтальную поверхность для расчета почасовых значений солнечной радиации // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 6. С. 81–92. doi: 10.32683/0536–1052–2019–726–6–81–92.
- 7 Свалова М.В., Касаткин В.В., Касаткина Н.Ю., Закиров А.Ю. Исследование солнечной энергии как одного из возобновляемых источников энергии, возможных к применению в сельском хозяйстве // АПК России. 2019. Т. 26. № 4 С. 563–571.
- 8 Маслова А.А., Осокин В.Л., Сбитнев Е.А. Анализ интенсивности солнечной радиации // Вестник НГИЭИ. 2015. № 4 (47). С. 56–62.
- 9 Невиdimова О.Г., Янкович Е.П. Энергетические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Томской области // Успехи современного естествознания. 2015. № 11-1. С. 134–138.
- 10 Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*. 2011. V. 37. doi: 10.1029/2010GL045777
- 11 Castillo C. P., e Silva F. B., Lavallo C. An assessment of the regional potential for solar power generation // *Energy Policy*. 2016. V. 88. P. 86–99. doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.004

### References


- 1 Kudryashev G.S., Tretyakov A.N., Shpak O.N. An integrated approach to resource and energy saving at the enterprise of the agro-industrial complex of the Irkutsk region. *Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy*. 2016. no. 73. pp. 135–140. Available at: <http://www.igsha.ru/science/files/v73.pdf> (in Russian).
- 2 Fedorov V.M. Theoretical calculation of interannual variability of insolation of the earth with daily resolution. *Studies of the solar system. Astronomical Bulletin*. 2016. vol. 50. no. 3. pp. 233–238. Available at: <https://docviewer.yandex.ru/view/561211722/> (in Russian).
- 3 Smulsky I.I., Krotov O.I. A new algorithm for calculating the insolation of the Earth. Tyumen, Institute of the Earth's Cryosphere SB RAS, 2015. 38 p. (in Russian).
- 4 Belolyubtsev A.I. Adaptation of agriculture taking into account current and expected climate risks. *Adaptation of Russian agriculture to changing weather and climate conditions*. Moscow, Publishing House of RGAU-Moscow Artists Academy named after K.A. Timiryazeva, 2011. pp. 11–22. (in Russian).
- 5 Fedorov V.M. Latitudinal variability of incoming solar radiation in different time cycles. *Reports of the Academy of Sciences*. 2015. vol. 460. no. 3. pp. 339–342. Available at: <http://solar-climate.com/pd/SHIROT2015.pdf> (in Russian).
- 6 Tsvetkov N.A., Tolstykh A.V., Khutorin A.N., Krivoshein Yu.O. Modeling insolation on a horizontal surface to calculate hourly values of solar radiation. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019. no. 6. pp. 81–92. doi: 10.32683/0536–1052–2019–726–6–81–92 (in Russian).
- 7 Svalova M.V., Kasatkin V.V., Kasatkina N.Yu., Zakirov A.Yu. The study of solar energy as one of the renewable energy sources that can be used in agriculture. *Agribusiness of Russia*. 2019. vol. 26. no. 4. pp. 563–571. (in Russian).
- 8 Maslova A.A., Osokin V.L., Sbitnev E.A. Analysis of the intensity of solar radiation. *Bulletin NGIEI*. 2015. no. 4 (47). pp. 56–62. (in Russian).
- 9 Nevidimova O.G., Yankovich E.P. Energy resources of solar radiation and wind in the Tomsk region. *Successes in modern natural sciences*. 2015. no. 11-1. pp. 134–138. (in Russian).
- 10 Kopp G., Lean J. A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*. 2011. vol. 37. doi: 10.1029/2010GL045777
- 11 Castillo C. P., e Silva F. B., Lavallo C. An assessment of the regional potential for solar power generation. *Energy Policy*. 2016. vol. 88. pp. 86–99. doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.004

**Сведения об авторах**


**Геннадий С. Кудряшев** д.т.н., профессор, кафедра энергообеспечения и теплотехники, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, пос. Молодежный, 1А, Иркутский район, 664038, Россия, kudryshev@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7949-3052>

**Инна В. Дыкус** магистрант, кафедра энергообеспечения и теплотехники, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, пос. Молодежный, 1А, Иркутский район, 664038, Россия, inna.dykus@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7189-5652>

**Сергей В. Батишев** преподаватель-исследователь, кафедра энергообеспечения и теплотехники, Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, пос. Молодежный, 1А, Иркутский район, 664038, Россия, total.irk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5399-5652>

**Вклад авторов**


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**


**Gennadiy S. Kudryashev** Dr. Sci. (Engin.), professor, power supply and heat engineering department, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny settlement, 1A, Irkutsk district, 664038, Russia, kudryshev@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7949-3052>

**Inna V. Dykus** master student, power supply and heat engineering department, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny settlement, 1A, Irkutsk district, 664038, Russia, inna.dykus@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7189-5652>

**Sergey V. Batishchev** research teacher, power supply and heat engineering department, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny settlement, 1A, Irkutsk district, 664038, Russia, total.irk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5399-5652>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 10/02/2020	<b>После редакции</b> 19/02/2020	<b>Принята в печать</b> 02/03/2020
<b>Received</b> 10/02/2020	<b>Accepted in revised</b> 19/02/2020	<b>Accepted</b> 02/03/2020