



## СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## SOLAR ENERGY

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

SOLAR POWER PLANTS

Статья поступила в редакцию 13.10.17. Ред. рег. № 1116-2234-1-RV The article has entered in publishing office 13.10.17. Ed. reg. No. 1116-2234-1-RV

УДК 620.91:658.26(571.56)

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)\*

*И.Ю. Иванова<sup>1</sup>, Д.Д. Ноговицын<sup>2</sup>, Т.Ф. Тугузова<sup>1</sup>,  
З.М. Шеина<sup>2</sup>, Л.П. Сергеева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

д. 130, ул. Лермонтова, Иркутск, 664033, Россия

тел.: +7(3952)50-06-46 (доп. 345, 357); факс: (3952)42-67-96; e-mail: nord@isem.irk.ru , tuguzova@isem.irk.ru

<sup>2</sup>Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН

д. 1, ул. Октябрьская, Якутск, 677891, Россия

тел.: +7(411-2)39-06-00; факс: +7(411-2) 33-66-65; e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.10-12.012-022

Заключение совета рецензентов: 15.12.17 Заключение совета экспертов: 09.02.18 Принято к публикации: 01.03.18

В статье описаны особенности энергоснабжения децентрализованных потребителей северных районов Республики Саха (Якутия). Проведено зонирование территории по показателям суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность и годовой продолжительности солнечного сияния. Представлена ретроспектива строительства солнечных электростанций в децентрализованной зоне республики, которая, несмотря на северное расположение, является пионером в области солнечной энергетики. Описаны конструктивные отличия некоторых электростанций, позволяющие специалистам местного предприятия на основе экспериментальных данных обосновывать приоритетные решения для климатических условий республики. Приведен перечень населенных пунктов с указанием суммарной мощности солнечных электростанций по районам республики. Дана динамика суммарных показателей выработки электроэнергии, экономии дизельного топлива и денежных средств на его приобретение за период 2011–2016 гг. На основе анализа функционирования солнечной электростанции в п. Джаргалах, расположенном за Полярным кругом, сделан вывод о преимуществах использования в арктических условиях монокристаллических модулей по сравнению с тонкопленочными и поликристаллическими. Фактические данные выработки электроэнергии по месяцам года свидетельствуют о характерном ярко выраженном летнем максимуме и практически отсутствии выработки в зимний период. Проиллюстрирована динамика выработки электроэнергии за пятилетний период каждой из семи построенных до 2015 г. солнечных электростанций и экономии денежных средств за счет вытеснения топлива на дизельных электростанциях. Установлено, что существенные изменения выработки электроэнергии связаны только с вводом дополнительного оборудования, а снижение затрат обусловлено повышением цен на дизельное топливо. По фактическим данным стоимости проектов строительства и экономии средств определены сроки окупаемости семи солнечных электростанций, расположенных в разных районах республики. Выявлено отсутствие влияния широтного размещения на сроки окупаемости проектов – наиболее существенным фактором выступает цена дизельного топлива. В связи с этим, даже в арктических районах республики с полярной ночью в зимний период, срок окупаемости проектов сооружения солнечных электростанций сопоставим с расположенными значительно южнее и не превышает 10 лет.

\* Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Тугузова Т.Ф., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Анализ функционирования солнечных электростанций в децентрализованной зоне Республики Саха (Якутия) // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018;(10-12):12-22.



Ключевые слова: децентрализованное электроснабжение; гелиоэнергетический потенциал; солнечные электростанции; цена дизельного топлива; выработка электроэнергии; экономия средств; срок окупаемости.

## AN ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANTS OPERATION IN THE OFF-GRID AREA OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

*I.Y. Ivanova<sup>1</sup>, D.D. Nogovitsyn<sup>2</sup>, T.F. Tuguzova<sup>1</sup>, Z.M. Sheina<sup>2</sup>, L.P. Sergeyeva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Melentiev Energy Systems Institute, SB RAS

130 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia

tel.: +7 (3952) 50 06 46 (ext. 345, 357); fax: (3952) 42 67 96, e-mail: nord@isem.irk.ru, tuguzova@isem.irk.ru

<sup>2</sup>Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, SB RAS

1 Oktyabr'skaya St., Yakutsk, 677891, Russia

tel.: +7 (411-2) 39 06 00; fax: +7 (411-2) 33 66 65, e-mail: dmitry-nogovitsyn@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.10-12.012-022

Referred 15 December 2017 Received in revised form 9 February 2018 Accepted 1 March 2018

The paper describes the specific features of power supply to the off-grid consumers in the northern territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Territorial zoning is made by the indices of total solar radiation received on horizontal surface and annual sunshine duration. Retrospective data on the solar power plants construction are presented for the off-grid area of the Republic which despite its northern location is a pioneer in this field of energy. The design differences of some power plants are described. This allows the experts of the local company to substantiate the priority solutions for the climatic conditions of the Republic based on the experimental data. A list of the populated settlements is presented with indication of the total capacity of solar power plants by area of the Republic. The paper demonstrates the dynamics of the total indices of electricity generation, the saving of diesel fuel and cost for its purchase in 2011–2016. Based on the analysis of solar power plant operation in the settlement of Dzhargalakh located beyond the Polar circle, we make a conclusion on the advantages of monocrystalline modules for the arctic conditions compared to the thin-film and polycrystalline ones. Actual data on electricity generation by month of the year are indicative of its typical pronounced summer maximum and virtual absence in winter. The paper shows the dynamics of electricity generation for a five-year period for each of the seven solar power plants constructed before 2015, and cost saving by fuel substitution at diesel power plants. Considerable changes in electricity generation are connected only with additional equipment to be placed into service. Increase in the cost saving is caused by growth of diesel fuel price. Actual data on the cost of the construction projects and cost saving are used to determine payback periods for seven solar power plants located in different areas of the Republic. Research has revealed that the latitudinal location does not affect payback periods of the projects while the diesel fuel price is the most decisive factor. In this context, even in the arctic areas of the Republic with winter polar night period, the payback period of the projects for construction of solar power plants is comparable with the power plants located in much more southerly areas and does not exceed 10 years.

Keywords: off-grid power supply; solar power potential; solar power plants; diesel fuel price; electricity generation; cost cutting; payback period.



Ирина Юрьевна  
Иванова  
Irina Ivanova

**Сведения об авторе:** канд. экон. наук, зав. лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей, Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН.

**Награды:** Лауреат областного конкурса в сфере науки и техники.

**Образование:** Иркутский политехнический институт, кибернетический факультет по специальности «Автоматизированные системы управления» и «Большие системы энергетики» (1981 г.).

**Область научных интересов:** малая энергетика; формирование политики энергоснабжения потребителей северных и удаленных территорий; моделирование финансово-экономической деятельности автономных энергоисточников.

**Публикации:** более 120, в том числе глав и разделов в 20 коллективных монографиях.

h-index 10; SPIN 6445-7531

**Information about the author:** Ph.D. in Economics, Head of the Laboratory of Energy Supply to off-grid Consumers, Melentiev Energy Systems Institute (ESI) SB RAS.

**Awards:** the winner of the regional competition in the field of science and technology.

**Education:** Cybernetic Faculty of the Irkutsk Polytechnic Institute with two specialisations: Computer-aided Management and Large Energy Systems, 1981.

**Research interests:** small-scale energy; the policy of energy supply to consumers in the northern and remote areas; modeling of financial and economic activities of autonomous energy sources.

**Publications:** more than 120 including chapters and sections in 20 collective monographs.



Дмитрий Дмитриевич  
Ноговицын  
Dmitry Nogovitsyn

**Сведения об авторе:** канд. географ. наук, профессор РАЕ, ведущий научный сотрудник отдела проблем энергетике, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова (ИФТПС) СО РАН; член научно-технического Совета Министерства охраны природы РС(Я), научно-технического Совета Ленского бассейнового управления РФ по РС(Я), федеральных экспертов в научно-технической сфере.

**Образование:** Новосибирский институт инженеров водного транспорта по специальности «Строительство водных путей и портов» (1959 г.).

**Область научных интересов:** основы и механизмы реализации экологических аспектов устойчивого развития энергетики Крайнего Севера России; оценка воздействия энергетических объектов на состояние окружающей среды.

**Публикации:** более 200.  
h-index 5; SPIN 5662-3883

**Information about the author:** Ph.D. in Geography, Professor RAE, Senior Researcher at the Department of Energy, V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS; Member of the Scientific and Technical Council of the Ministry of Nature Protection of the Sakha Republic and the Federal Experts in scientific and technical sphere.

**Education:** Novosibirsk Institute of Water Transport Engineers with a degree in Construction of Waterways and Ports, 1959.

**Research interests:** the framework and mechanisms for the implementation of environmental aspects of sustainable energy development of the Russian Far North; the assessment of the impact of energy facilities on the environment.

**Publications:** more than 200.



Татьяна Федоровна  
Тугузова  
Tatiana Tuguzova

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории энергоснабжения децентрализованных потребителей, Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН.

**Образование:** Иркутский политехнический институт по специальности «Промышленная теплоэнергетика» (1975 г.).

**Область научных интересов:** обоснование применения возобновляемых источников энергии для энергоснабжения децентрализованных потребителей, моделирование их совместного функционирования с энергоисточниками на органическом топливе.

**Публикации:** более 120, в том числе глав и разделов в 18 коллективных монографиях.  
h-index 11; SPIN 6235-4882

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Senior Researcher of the Laboratory of Energy Supply to off-grid Consumers, Melentiev Energy Systems Institute (ESI) SB RAS.

**Education:** Irkutsk Polytechnic Institute with a degree in Industrial Heat Power Engineering, 1975.

**Research interests:** feasibility study on the application of renewable energy sources to supply energy to off-grid consumers, modeling of their joint operation with fossil energy sources.

**Publications:** more than 120 including chapters and sections in 18 collective monographs.



Зинаида Макаровна  
Шейна  
Zinaida Sheina

**Сведения об авторе:** научный сотрудник отдела проблем энергетике, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова (ИФТПС) СО РАН.

**Образование:** Якутский государственный университет по специальности «География» (1987 г.).

**Область научных интересов:** охрана окружающей среды; гидрология; водные ресурсы; ветроэнергетические установки; региональная экология.

**Публикации:** более 80.  
h-index 3; SPIN 5662-3883

**Information about the author:** Researcher at the Department of Energy V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS.

**Education:** Yakutsk State University with a degree in Geography, 1987.

**Research interests:** environmental protection; hydrology; water resources; wind power plant; regional environment.

**Publications:** more than 80.



Людмила  
Прокопьевна Сергеева  
Lyudmila Sergeeva

**Сведения об авторе:** младший научный сотрудник отдела проблем энергетике, Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова (ИФТПС) СО РАН.

**Образование:** Якутский государственный университет по специальности «География» (1987 г.).

**Область научных интересов:** охрана окружающей среды; гидрология; водные ресурсы; ветроэнергетические установки; региональная экология.

**Публикации:** более 50.  
h-index 3; SPIN 5662-3883

**Information about the author:** Junior Researcher at the Department of Energy V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS.

**Education:** Yakutsk State University with a degree in Geography, 1987.

**Research interests:** environmental protection; hydrology; water resources; wind power plant; regional environment.

**Publications:** more than 50.

## 1. Введение

Республика Саха (Якутия) является самым крупным субъектом Российской Федерации: общая площадь континентальной и островной части составляет 3,1 млн км<sup>2</sup>, и почти вся эта территория расположена в зоне вечной мерзлоты с суровым резкоконтинентальным климатом. При этом значительная часть территории Республики Саха находится вне зоны централизованного электроснабжения: в основном это северные улусы, где электроэнергией потребители обеспечиваются от многочисленных (137 шт.) дизельных электростанций (ДЭС) АО «Сахаэнерго» суммарной установленной мощностью 190 МВт [1]. Значительная часть генерирующего оборудования ДЭС находится в неудовлетворительном состоянии: на 2016 г. более 40 % от общего количества физически и морально устарело [1].

В связи с удаленностью и труднодоступностью децентрализованных потребителей и слабым развитием транспортной инфраструктуры особо остро стоят проблемы снабжения энергоисточников топливом, которые приводят к высокой стоимости топлива и, значит, себестоимости производства электроэнергии. У наиболее удаленных электростанций транспортная составляющая стоимости топлива достигает 70 ÷ 80 %, а средние показатели себестоимости производства электроэнергии составляют 30 ÷ 50 руб./кВт·ч. Ввиду необходимости ограничения роста тарифов для населения не выше установленных нормативов, за счет перекрестного субсидирования выделяются значительные дотации на выравнивание тарифов и содержание энергоисточников. Так, в 2016 г. объем перекрестного субсидирования дизельной энергетики в республике оценивался в 6,8 млрд руб. [2]. Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности солнечных электростанций (СЭС), позволяет значительно снизить объем потребления дизельного топлива и, соответственно, дотации на выравнивание тарифов для потребителей.

Следует отметить, что динамика тенденций роста установленной мощности солнечной фотоэлектрики в мире свидетельствует о высоких темпах развития: с 2010 г. по 2015 г. суммарная мощность СЭС возросла с 40 ГВт до 227 ГВт [3, 4]. В то же время за этот

период наблюдалась противоположная динамика стоимости фотоэлектрических преобразователей – снижение практически в три раза, что обусловлено значительным падением цены на кремний (с 2008 г. по 2012 г. более чем в 10 раз) [4].

Основным направлением развития фотоэлектрики в мире, наряду с увеличением КПД, является наращивание мощности станции, например, установленная мощность крупнейших солнечных электростанций в Калифорнии превышает 500 МВт. В России до последнего времени эта отрасль энергетики практически не развивалась. По состоянию на 2016 г. суммарная мощность российских СЭС составляла 536 МВт, из них СЭС суммарной мощностью 407 МВт (Форма Росстата «Электробаланс» за 2016 г.) функционировали на территории Республики Крым, где использованию гелиопотенциала для энергоснабжения давно уделяется большое внимание [5]. Оставшиеся 129 МВт введены за последние три года, в основном в Поволжье и Республике Алтай. Преобладающая часть мощности СЭС и в мире, и в России сосредоточена в зоне централизованного электроснабжения.

Мировые тенденции свидетельствуют об обширном использовании солнечной энергии и для энергоснабжения удаленных и изолированных от энергосистем потребителей. Это направление фотоэлектрики особенно развито в Индии [6], Африке [7], Австралии [8], арабских странах [9], хотя подобные электростанции довольно эффективно эксплуатируются и в более высоких широтах: в Европе, Канаде, на Аляске [10–12].

Вопросы целесообразности эксплуатации солнечных электростанций для энергоснабжения удаленных потребителей северных территорий России широко освещены в работах многих исследователей [13–17]. Первые экспериментальные проекты сооружения СЭС в дополнение к ДЭС на территории России были реализованы на территории Республики Саха (Якутия) еще в 2011 г.

Целью данного исследования являлась оценка окупаемости проектов солнечных электростанций на территории республики исходя из анализа фактических данных стоимости их строительства и выработки электроэнергии.

### Список обозначений

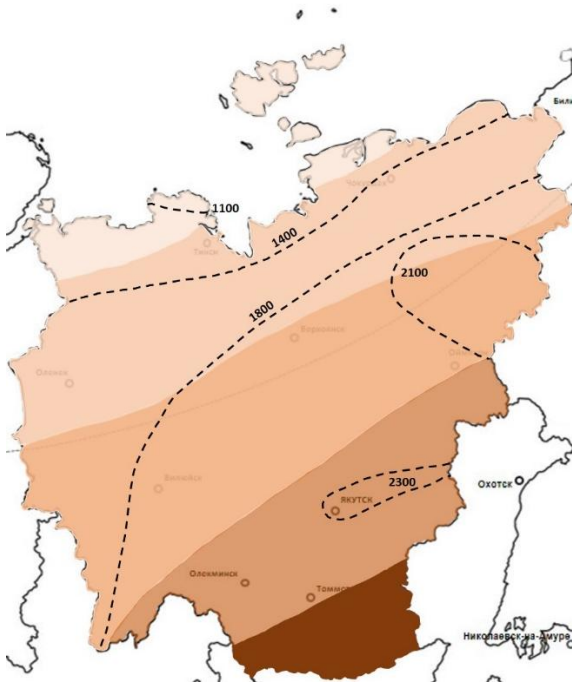
#### Аббревиатуры

ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ДЭС	Дизельная электростанция
КПД	Коэффициент полезного действия
пгт	Посёлок городского типа
СЭС	Солнечная электростанция

## 2. Теоретический анализ гелиоэнергетического потенциала

Несмотря на то, что 52 % территории республики относится к арктическим и северным районам с климатом, отличающимся продолжительным зимним и

коротким летним периодами, по количеству солнечных дней в году она занимает лидирующее место среди северных регионов страны. Практически на всей территории республики продолжительность солнечного сияния составляет более 2 тыс. часов в год, а в локальных районах превышает 2,1 ÷ 2,3 тыс. часов.



**Рис. 1** – Зонирование территории Республики Саха (Якутия) по показателям гелиопотенциала: среднегодовой приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м<sup>2</sup>:

< 800, 800–900, 900–1 000, 1000–1100, > 1100;

----- годовая продолжительность солнечного сияния, ч/год

**Fig. 1** – Zoning of the territory of Republic of Sakha (Yakutia) by solar potential indices: annual average incoming solar radiation on horizontal surface, kWh/m<sup>2</sup>:

< 800, 800–900, 900–1100, 1000–1100, > 1100;

----- annual sunshine duration, h/year

Валовой гелиопотенциал составляет 357 млрд т у.т., что немногим меньше половины этого показателя всего Дальневосточного федерального округа, технический потенциал оценивается в 736 млн т у.т., или 0,2 % от валового [18–20]. Годовой приход сумм-

марной солнечной радиации на горизонтальную поверхность даже для арктических территорий, расположенных за Северным полярным кругом (66°33'), – более 800 кВт·ч/м<sup>2</sup>, и только на самом побережье Северного Ледовитого океана, севернее 72 параллели, его значения невелики (рис. 1) [21–24].

Кроме того, республика является одним из немногих субъектов РФ, где имеется законодательная база возобновляемой энергетики – Закон «О возобновляемых источниках энергии Республики Саха (Якутия)» от 27.11.2014. [25], основная цель которого заключается в создании правовых, экономических и организационных основ и механизмов стимулирования использования возобновляемых источников энергии, формировании и введении в действие финансово-экономических механизмов в этой сфере, а также в привлечении инвестиций в проекты возобновляемых источников энергии.

Все эти факторы создают условия для развития в регионе возобновляемой и, в первую очередь, солнечной энергетики. Результаты работы авторов по оценке экономической эффективности использования гелиопотенциала для энергоснабжения потребителей арктических районов республики с описанием опыта эксплуатации первой республиканской СЭС в п. Батамай приведены в [26].

### 3. Ретроспектива строительства солнечных электростанций

Республику Саха (Якутию) по праву можно считать пионером в развитии автономной солнечной энергетики в России (в этом заслуга АО «РАО ЭС Востока» ПАО «РусГидро» и эксплуатирующей организации АО «Сахаэнерго»). В настоящее время в разных районах республики функционирует 20 возобновляемых энергоисточников суммарной установленной мощностью 1 651 кВт, из них: 19 СЭС (1 611 кВт) и 1 ветроэлектростанция (40 кВт). Данные по установленной мощности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Установленная мощность солнечных электростанций по районам республики (состояние 2017 г.) [27, 28]

Table 1

Installed capacity of the solar power plants by area of the Republic (as of 2017) [27, 28]

Улус	Населенный пункт	Суммарная установленная мощность, кВт
Алданский	Верхняя Амга, Улуу	56
Абыйский	Куберганя	20
Верхоянский	Дулгалах, Батагай, Бетенкес, Юнкюр, Столбы	1 110
Жиганский	Кыстатыам	40
Кобыйский	Батамай, Себян-Кюель	110
Оймяконский	Ючюгей, Орго-Балаган	80
Олекминский	Куду-Кюель, Иннях, Дельгей	120
Оленекский	Эйик	40
Хангаласский	Тойон-Ары	20
Эвено-Бытантайский	Джаргалах	15
<b>Всего</b>		<b>1 611</b>

В 2015 г. СЭС в с. Ючюгей, построенная в 2012 г., была расширена с 20 кВт до 30 кВт. Ранее установленные фотоэлектрические панели были смонтированы на неподвижных платформах. Дополнительные панели установлены на двух экспериментальных поворотных конструкциях – трекарах, позволяющих осуществлять слежение за солнцем [27–29].

В том же году в пгт Батагай была построена первая в мире крупная СЭС (1 МВт) за полярным кругом, которая впоследствии была внесена в Книгу рекордов Гиннеса. Одновременно строились еще три солнечных электростанции, расположенные относительно близко от Батагайской – в с. Бетенкес и с. Юнкюр по 40 кВт и в с. Столбы (10 кВт). Благодаря одновременной поставке оборудования для всех

станций транспортные расходы были существенно снижены.

Наиболее интенсивный ввод солнечных электростанций суммарной мощностью 1,3 МВт осуществлялся в период 2015–2016 гг. Выработка электроэнергии СЭС за весь период их функционирования составила 1,3 млн кВт·ч, что позволило за счет вытеснения дизельного топлива сэкономить более 20 млн руб. (табл. 2).

В 2017 г. АО «Сахаэнерго» ввело в эксплуатацию еще 3 СЭС: две мощностью по 50 кВт в поселках Себян-Кюель Кобяйского улуса и Орто-Балаган Оймьяконского улуса, панели которых имеют механизм корректировки угла наклона, и 40 кВт в п. Кыстатыам Жиганского улуса [27].

Динамика показателей функционирования солнечных электростанций республики [27, 28]

Таблица 2

Table 2

Dynamics of solar power plant performance indices [28, 28]

Показатель	Год						Итого за период
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Выработка СЭС, тыс. кВт·ч	2,7	26,8	77,4	96,7	179,6	950,8	1 334
Экономия дизельного топлива, т	0,9	8,6	25,1	31,3	55,4	270,9	392,2
Экономия средств, тыс. руб.	26,7	310	1 070	1 337	2 653	14 814	20 211

#### 4. Результаты анализа функционирования солнечных электростанций и их обсуждение

По имеющимся фактическим показателям эксплуатации 7 солнечных электростанций, построенных до 2015 г., был проведен анализ эффективности их функционирования и рассмотрены факторы,

влияющие на эти показатели. На рис. 2 представлено изменение показателей выработки электроэнергии и снижение денежных затрат за счет вытеснения топлива за период с 2012 г. по 2016 г. Следует отметить, что показатели солнечных электростанций рассматривались начиная с полного года их функционирования.

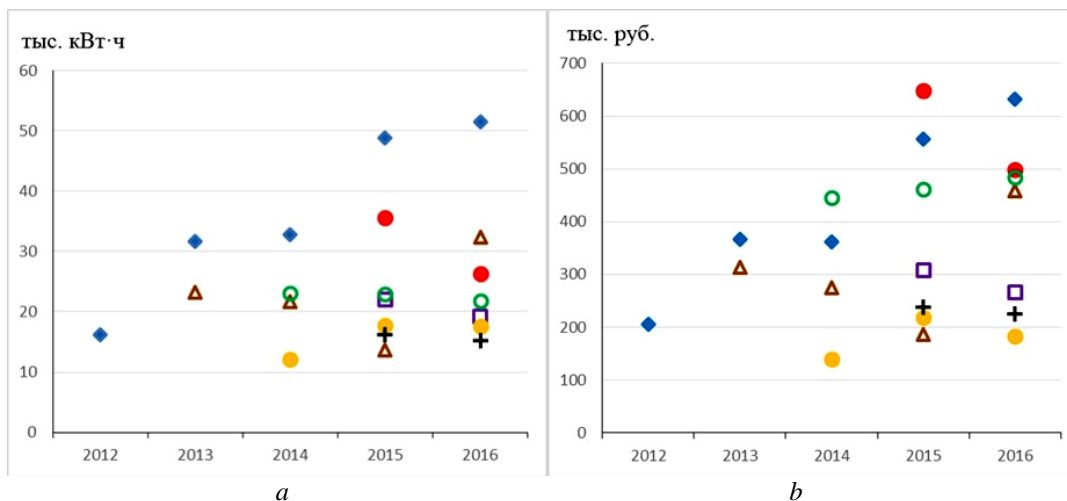


Рис. 2 – Изменение показателей функционирования солнечных электростанций в населенных пунктах [27, 28]:

a – выработка электроэнергии; b – экономия средств; ◆ Батамай (60 кВт); ▲ Ючюгей (30 кВт),

● Куду-Кюель (20 кВт); ● Дулгалах (20 кВт); ● Эйик (40 кВт); ■ Куберганя (20 кВт); + Джаргалах (15 кВт)

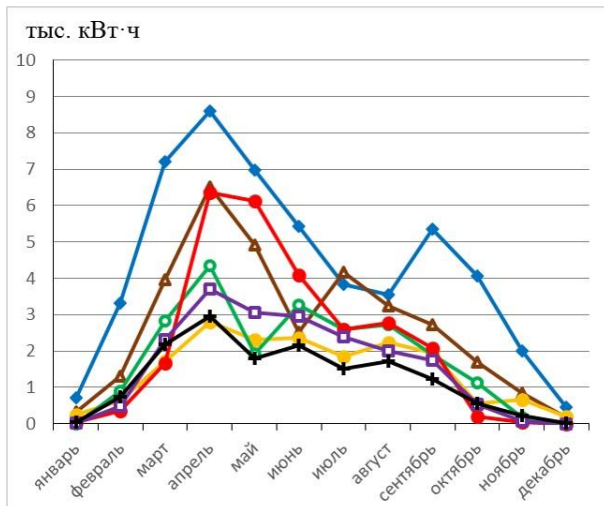
Fig. 2 – Variation in the performance indices of solar power plants in populated areas [26, 27]:

a – electricity generation; b – cost saving; ◆ Batamay (60 kW); ▲ Yuchyugey (30 kW); ● Kudu Kyuel (20 kW);

● Dulgalakh (20 kW); ● Aieek (40 kW); ■ Kuberganya (20 kW); + Dzhargalakh (15 kW)

Анализ данных об экономии денежных средств показывает, что они в большей степени повторяют тенденцию выработки электроэнергии – изменение цены топлива за рассматриваемый период не оказывает существенного влияния. Значительный рост выработки СЭС в пгт Батамай связан с последовательным увеличением установленной мощности (10 кВт + 20 кВт + 30 кВт), а в с. Ючюгей, кроме увеличения мощности (на 10 кВт), – с установкой трекеров. Особенно наглядно преимущество трекеров проявилось в 2016 г., когда выработка электроэнергии СЭС по сравнению с 2015 г. во всех рассмотренных пунктах снизилась, а в п. Ючюгей за счет слежения за солнцем части фотоэлектрических преобразователей – существенно возросла даже в сравнении с СЭС в с. Батамай, где мощность увеличилась на 30 кВт.

Следует отметить, что выработка электроэнергии солнечными электростанциями республики в течение года имеет ярко выраженный весенний максимум с практически нулевыми значениями в зимний период независимо от широты местности (рис. 3).

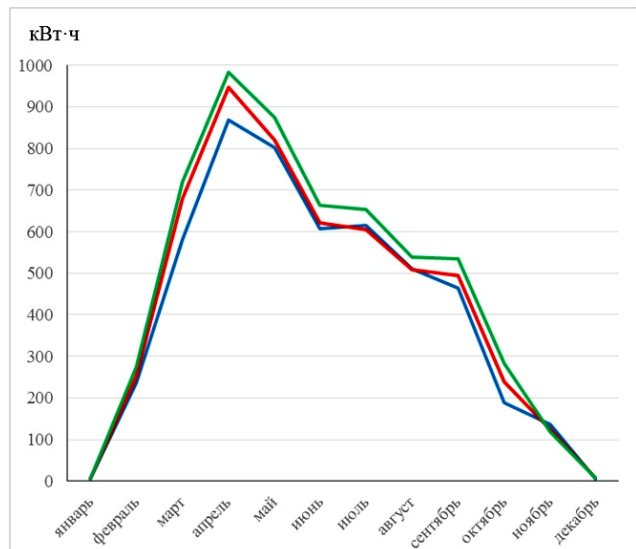


**Рис. 3 –** Выработка электроэнергии в 2016 г. солнечными электростанциями в населенных пунктах:

- ◆ Батамай (60 кВт); ▲ Ючюгей (30 кВт);
  - Куду-Кюель (20 кВт); ● Дулгалах (20 кВт);
  - Эйик (40 кВт); ■ Куберганя (20 кВт); + Джаргалах (15 кВт)
- Fig. 3 –** Electricity generation in 2016 by solar power plants in populated areas: ◆ Batamay (60 kW); ▲ Yuchyugey (30 kW); ● Kudu Kyuel (20 kW); ● Dulgalakh (20 kW); ● Aieek (40 kW); ■ Kuberganya (20 kW); + Dzhangalakh (15 kW)

Кроме установленной мощности модулей, на выработку оказывает влияние тип этих модулей. На рис. 4 показан годовой график выработки электроэнергии разными типами модулей одинаковой мощности по 5 кВт, установленными на солнечной электростанции в п. Джаргалах. Выработка электроэнергии в 2015 г. составила 5,0 тыс. кВт·ч, 5,3 тыс. кВт·ч и 5,7 тыс. кВт·ч для тонкопленочных, поликристаллических и монокристаллических модулей соответ-

ственно. Анализ данных свидетельствует о большей производительности монокристаллических модулей, причем значительные различия наблюдаются в весенне-летний период.



**Рис. 4 –** Выработка электроэнергии в п. Джаргалах солнечными модулями различного типа:

- тонкопленочные
  - поликристаллические;
  - монокристаллические
- Fig. 4 –** Electricity generation in the settlement of Dzhangalakh by solar modules of different types: — thin film (amorphous); — polycrystalline; — monocrystalline

Расчетные сроки окупаемости СЭС определялись по показателям выработки электроэнергии и цене дизельного топлива за год эксплуатации (2016 г.).

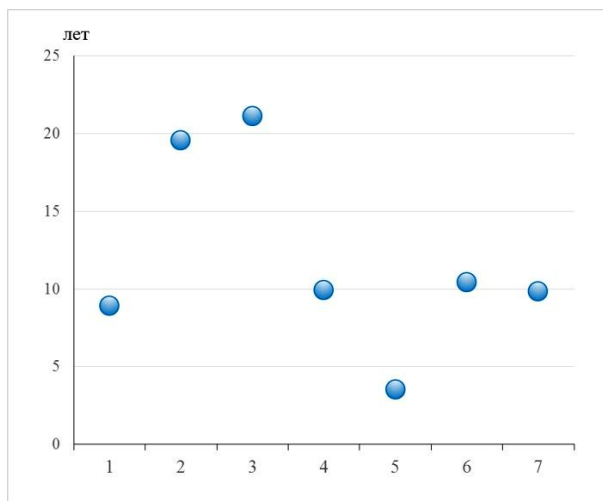
Практически для всех СЭС срок окупаемости составил около 10 лет, причём даже для тех, которые расположены за Полярным кругом: Дулгалах, Джаргалах, Куберганя. Высокие сроки окупаемости для СЭС в поселках Батамай и Ючюгей связаны с последовательным расширением станций и установкой дополнительного оборудования (накопители, трекеры) (рис. 5).

Проведенный анализ показал, что широтное расположение СЭС не оказывает влияния на сроки окупаемости их сооружения и эксплуатации. Вместе с тем прослеживается зависимость этого показателя от цены дизельного топлива. Так, в с. Куду-Кюель сумма удельных капиталовложений является одной из самых низких для рассматриваемых СЭС, и поскольку станция расположена южнее прочих, а значения солнечной радиации одни из лучших, срок окупаемости строительства должен быть небольшим. Но в связи с тем, что цена дизельного топлива в этом пункте также является самой низкой, срок окупаемости СЭС сопоставим с арктическими станциями.

На окупаемость проектов значительно влияет состав оборудования: с одной стороны, удорожание за счет установки трекеров увеличивает срок окупаемости, с другой – повышение выработки электроэнер-



гии и, следовательно, объема вытесненного топлива приводит к его снижению. Поскольку время эксплуатации СЭС, на которых установлено дополнительное оборудование, незначительно, оценить его преимущество на данном этапе достаточно сложно.



**Рис. 5** – Расчетные сроки окупаемости солнечных электростанций, построенных до 2015 г., в населенных пунктах: 1 – Куду-Кюель (59°26' с.ш.); 2 – Ючюгей (63°18' с.ш.); 3 – Батамай (63°31' с.ш.); 4 – Эйик (66°20' с.ш.); 5 – Дулгалах (67°12' с.ш.); 6 – Джаргалах (67°16' с.ш.); 7 – Куберганя (67°46' с.ш.)

**Fig. 5** – Calculated payback periods of solar power plants, constructed before 2015, in populated areas: 1 – Kudu-Kyuel (59°26' N); 2 – Yuchyugey (63°18' N); 3 – Batamay (63°31' N); 4 – Aieek (66°20' N); 5 – Dulgalakh (67°12' N); 6 – Dzhangalakh (67°16' N); 7 – Kuberganya (67°46' N)

В перспективе планируется дальнейшее активное развитие возобновляемой энергетики республики [29–31]. По данным утвержденной «Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности АО «Сахаэнерго» на 2017–2021 годы», за этот период намечается ввести в эксплуатацию более 800 кВт солнечных электростанций и около 2 МВт ветроэлектростанций, в том числе 900 кВт в п. Тикси.

## 5. Заключение

Значительная часть территории Республики Саха (Якутии) находится в зоне децентрализованного электроснабжения, где основные проблемы связаны с дальностью, труднодоступностью и сезонностью транспорта дорогостоящего топлива для многочисленных дизельных электростанций. Особенно остро эти проблемы проявляются в северных и арктических районах.

Вместе с тем эта территория обладает большим гелиопотенциалом для энергетики. В республике имеется законодательная база, которая способствует развитию возобновляемой энергетики, пока в основном солнечной.

В настоящее время в республике функционирует 19 автономных солнечных электростанций суммарной мощностью 1 611 кВт, в том числе, самая крупная в мире из расположенных за Полярным кругом СЭС мощностью 1 МВт в п. Батагай.

Анализ функционирования солнечных электростанций в республике показал, что сроки окупаемости не зависят от широтного расположения станций и составляют в среднем около 10 лет. При этом установка дополнительного оборудования, позволяющего повысить выработку электроэнергии, существенно увеличивает капиталоемкость проекта, что сказывается на сроках окупаемости. Однако небольшой период наблюдений не дает возможности однозначно утверждать, насколько удорожание компенсируется увеличением выработки электроэнергии в последующие годы.

Приведенные фактические показатели и их анализ позволяют сделать вывод о положительном опыте эксплуатации солнечных электростанций для децентрализованных потребителей в республике, даже в самых высоких широтах, и наличии предпосылок к дальнейшему расширению использования гелиопотенциала в энергетике.

### Благодарности

Авторы выражают признательность специалистам АО «Сахаэнерго» за предоставление фактических данных для исследования и научному сотруднику ИСЭМ СО РАН Н.А. Халгаевой за составление карты зонирования.

### Acknowledgments

The authors express their gratitude to the specialists of JSC “Sakhaenergo” for providing evidence for the study and a researcher at ESI SB RAS N.A. Khalgaeva for compiling a zoning map.

## Список литературы

- [1] Годовые отчеты АО «Сахаэнерго» за 2011–2016 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sakhaenergo.ru/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=0&Itemid=33](http://sakhaenergo.ru/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=0&Itemid=33). – (Дата обращения: 29.09.2017).
- [2] Башмаков, И.А. Анализ финансовой нагрузки на регионы с дорогостоящим децентрализованным энергоснабжением [Текст] / И.А. Башмаков, М.Г. Дзедзичек // Энергосовет. – 2017. – № 47. – С. 7–16.
- [3] Состояние возобновляемой энергетики глобальной 2016. Глобальный отчет. [Текст] – Париж: Секретариат REN 21, 2016. – 31 с.
- [4] Елистратов, В.В. Современное состояние и тренды развития ВИЭ в мире [Текст] / В.В. Елистратов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 1–3. – С. 84–100.
- [5] Горбунова, Т.Ю. Изученность солнечного энергетического потенциала Крымского полуострова [Текст] / Т.Ю. Горбунова, Р.В. Горбунов // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 1–3. – С. 84–100.



ка и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 7–9. – С. 12–20. DOI:10.15518/isjaee.2017.07-09.012-020.

[6] Sujit Kumar Jha. Cost optimization of a solar PV system for a remote village in India [Text] / Sujit Kumar Jha // International Journal of Renewable Energy Resources. – 2016. – No. 6. – P. 1–8.

[7] PV Injection in Isolated diesel Grids. Feasibility Considerations / International Energy Agency. – 2007. – 12 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=368&eID> – (Дата обращения: 29.04.2018).

[8] Chem Nayar. Solar power plants for residential, commercial, utility and off-grid applications [Text] / Chem Nayar // Proceeding International Conference 2014 Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, Bangalore 13–15 March. – 2014. – P. 342–358.

[9] Diesel to Solar Transformation [Text] // Accelerating Achievement of SDG 7 on Sustainable Energy Assessing Untapped Solar Potential in Existing Off-grid Systems in the Arab Region. – Egypt: Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency. – 2016. – 48 p.

[10] Pavlović, T. Determining of energy efficiency of PV solar power plant at the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš [Text] / T. Pavlović [et al.] // Renewable Energy Sources. – 2013. – Vol. IV–2. – P. 112–116.

[11] Сайт Canadian Solar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canadiansolar.com/making-the-difference/remote-communities-gain-access-to-real-power.html>. (Дата обращения: 29.04.2018).

[12] Cherniak, D. [et al]. Report on the State of Alternative Energy in the Arctic [Электронный ресурс]. – Canada: Ottawa, Carleton University. – 2015. – 208 p. – Режим доступа: [https://curve.carleton.ca/system/files/faculty\\_staff\\_research\\_publication/08515c6b-3b39-4c41-ad7b-2c6306cf0379/fac\\_staff\\_res\\_pub\\_pdf/d9833b6ff19ff098e44032a87026605f/cherniak-et-al-alternativeenergyarctic.pdf](https://curve.carleton.ca/system/files/faculty_staff_research_publication/08515c6b-3b39-4c41-ad7b-2c6306cf0379/fac_staff_res_pub_pdf/d9833b6ff19ff098e44032a87026605f/cherniak-et-al-alternativeenergyarctic.pdf) – (Дата обращения: 11.05.2018 г.).

[13] Бодрова, Е.С. Сравнительный анализ эксплуатации солнечных модулей в арктическом климате России и Канады [Текст] / Е.С. Бодрова [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 28–30. – С. 12–24. DOI:10.15518/isjaee.2017.28-30.012-024

[14] Шуткин, О.И. Оценка конкурентоспособности солнечной генерации в электроэнергетике России [Текст] / О.И. Шуткин // Энергетическая политика. – 2014. – Вып. 1. – С. 67–76.

[15] Коновалова, О.Е. Малая возобновляемая энергетика на северо-западе Арктики [Текст] / О.Е.

Коновалова, Г.В. Никифорова // Труды Кольского научного центра. – 2016. – № 1–2 (35). – С. 117–131.

[16] Сурков, М.А. Оценка целесообразности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения удаленных потребителей в климатических условиях Севера Российской Федерации [Текст] / М.А. Сурков [и др.] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2016. – Т. 8. – № 4. – С. 1–13.

[17] Применение альтернативной энергетики в Арктике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro-arctic.ru/04/07/2017/resources/27131>. (Дата обращения: 11.05.2018).

[18] Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – 160 с.

[19] Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. / Показатели по территориям. – М.: «ИИАЦ Энергия», 2007. – 272 с.

[20] Моргунова, М.О. Энергоснабжение Российской Арктики: углеводороды или ВИЭ [Текст] / М.О. Моргунова, Д. А. Соловьев // Энергетическая политика. – 2016. – Вып. 5. – С. 44–51.

[21] Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О.С. Попель и др. – М.: Объединенный институт высоких температур РАН, 2010. – 81 с.

[22] Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Ч. 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 96 с.

[23] Попель, О.С. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в арктической зоне Российской Федерации [Текст] / О.С. Попель [и др.] // Арктика, экология и экономика. – 2015. – № 1 (17). – С. 64–69.

[24] Габдрахманова, Т.С. Некоторые аспекты развития возобновляемой энергетики в арктической зоне РФ [Текст] / Т.С. Габдрахманова [и др.] // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – № (19–20). – С. 41–53.

[25] Закон «О возобновляемых источниках энергии Республики Саха (Якутия)» от 27.11.2014 г. № 313-V (с изменениями на 28.02.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/445029370> – (Дата обращения: 25.09.2017).

[26] Иванова, И.Ю. Обоснование целесообразности использования гелиоустановок в Верхоянском районе республики Саха (Якутия) [Текст] / И.Ю.



Иванова [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 6. – С. 34–39.

[27] Корякин, А.К. Опыт эксплуатации систем солнечной генерации в условиях Крайнего Севера // Материалы V международной конференции «Возобновляемая энергетика в изолированных системах Дальнего Востока России. – Якутск. – 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eastrenewable.ru/upload/iblock/d5a/4\\_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf](http://www.eastrenewable.ru/upload/iblock/d5a/4_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf). – (Дата обращения: 27.09.2017).

[28] Материалы Международной конференции «Развитие возобновляемой энергетики на Дальнем Востоке». – Якутск. – 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eastrenewable.ru>. – (Дата обращения: 27.09.2017).

[29] Бердин, В.Х. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики [Текст] / В.Х. Бердин [и др.]. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 80 с. ISBN 978-5-906599-35-3.

[30] Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года [Текст] / Правительство Республики Саха (Якутия). – Якутск, Иркутск: Медиа-холдинг «Якутия», и др.: 2010. – 328 с.

[31] Соловьев, Д.А. Адаптация энергетической инфраструктуры в Арктике к климатическим изменениям с использованием возобновляемых источников энергии [Текст] / Д.А. Соловьев, М.О. Моргунова, Т.С. Габдерахманова // Энергетическая политика. – 2017. – Вып. 4. – С. 72–80.

## References

[1] Annual reports of JSC “Sakhaenergo” for 2011–2016. (Godovye otchety AO “Sahaenergo” za 2011–2016 gg.). Available on:

[http://sakhaenergo.ru/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=0&Itemid=33](http://sakhaenergo.ru/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=0&Itemid=33). [29.09.2017] (in Russ.).

[2] Bashmakov I.A., Dzedzichuk M.G. Analysis of financial burden on regions with expensive decentralized energy supply (Analiz finansovoj nagruzki na regiony s dorogostoyashchim decentralizovannym ehnergosnabzheniem). *Energosovet*, 2017;47:7–16 (in Russ.).

[3] The Renewables 2016 Global Status Report. (Sostoyanie vozobnovlyaej ehnergetiki global'noj 2016. Global'nyj otchet). Paris: Secretariat REN, 2016;21:31 (in Russ.).

[4] Elistratov V.V. Current state and trends of renewable energy development in the world (Sovremennoe sostoyanie i trendy razvitiya VIEH v mire). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2017;1–3:84–100 (in Russ.).

[5] Gorbunova T.Yu., Gorbunov R.V. The study of the solar energy potential of the Crimean peninsula, (Izuchennost' solnechnogo ehnergeticheskogo potenciala Krymskogo poluostrova). *International Scientific Jour-*

*nal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2017;7–9:12–20 (in Russ.).

[6] Sujit Kumar Jha Cost optimization of a solar PV system for a remote village in India. *International Journal of Renewable Energy Resources*, 2016;6:1–8.

[7] PV Injection in Isolated diesel Grids. Feasibility Considerations. *International Energy Agency*, 2007:12. Available on: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=368&eID> [29.04.2018].

[8] Chem Nayar Solar power plants for residential, commercial, utility and off-grid applications. *Proceeding International Conference 2014 Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, Bangalore 13-15 March*. 2014, pp. 342–358.

[9] Diesel to Solar Transformation. *Accelerating Achievement of SDG 7 on Sustainable Energy Assessing Untapped Solar Potential in Existing Off-grid Systems in the Arab Region. – Egypt: Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency*, 2016, p. 48.

[10] Pavlović T., et al. Determining of energy efficiency of PV solar power plant at the Faculty of Sciences and Mathematics in Niš. *Renewable Energy Sources*, 2013;IV–2:112–116.

[11] Canadian Solar. Available on: <https://www.canadiansolar.com/making-the-difference/remote-communities-gain-access-to-real-power.html> [accessed 29.04.2018].

[12] Report on the State of Alternative Energy in the Arctic. Canada: Ottawa, Carleton University, 2015, p. 208. Available on:

[https://curve.carleton.ca/system/files/faculty\\_staff\\_research\\_publication/08515c6b-3b39-4c41-ad7b-2c6306cf0379/fac\\_staff\\_res\\_pub\\_pdf/d9833b6ff19ff098e44032a87026605f/cherniak-et-al-alternativeenergyarctic.pdf](https://curve.carleton.ca/system/files/faculty_staff_research_publication/08515c6b-3b39-4c41-ad7b-2c6306cf0379/fac_staff_res_pub_pdf/d9833b6ff19ff098e44032a87026605f/cherniak-et-al-alternativeenergyarctic.pdf) / [11.05.2018].

[13] Bodrova E.S., Dolgosheev V.V., Kirpichnikova I.M., Korobatov D.V., Martyanov A.S., Sirotkin E.A., Solomin E.E. Comparative analysis of solar modules operation in the Arctic climate of Russia and Canada (Sravnitel'nyj analiz ehkspluatatsii solnechnyh modulej v arkticheskom klimate Rossii i Kanady). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2017;28–30:12–24 (in Russ.).

[14] Shutkin O.I. Evaluation of the competitiveness of solar generation in the Russian electric power industry (Ocenka konkurentosposobnosti solnechnoj generatsii v ehlektroehnergetike Rossii). *Energy Policy*, 2014;1:67–76 (in Russ.).

[15] Konovalova O.E., Nikiforova G.V. Small-scale renewable energy in the northwest of the Arctic (Malaya vozobnovlyaej ehnergetika na severo-zapade Arktiki). *Proceedings of the Kola Science Center*, 2016;1–2(35):117–131 (in Russ.).



[16] Surkov M.A., et al. Evaluation of economic viability of photovoltaic installations for power supply to remote consumers in the climatic conditions of the North of the Russian Federation (Ocenka celesoobraznosti primeneniya fotoelektricheskikh ustanovok dlya ehlektrosnabzheniya udalennykh potrebitelej v klimaticheskikh usloviyah Severa Rossijskoj Federacii). *Internet-journal "Naukovedenie"*, 2016;8.4:1–13 (in Russ.).

[17] Application of alternative energy in the Arctic (Primenenie al'ternativnoj ehnergetiki v Arktike). Available on: <http://pro-arctic.ru/04/07/2017/resources/27131> [11.05.2018] (in Russ.).

[18] Atlas of Renewable Energy Resources in Russia: Sci. edition (Atlas resursov vozobnovlyaemoy ehnergii na territorii Rossii: nauch. Izdanie). *Moscow Mendeleev RCTU*, 2015, p. 160 (in Russ.).

[19] Handbook on renewable energy resources of Russia and local fuel types. Indicators by territory (Spravochnik po resursam vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii Rossii i mestnym vidam topliva. Pokazateli po territoriyam). Moscow: "IAC Energia" Publ., 2007, p. 272 (in Russ.).

[20] Morgunova M.O., Soloviev, D.A. Energy supply of the Russian Arctic: hydrocarbons or renewables (Energosnabzhenie Rossijskoj Arktiki: uglevodorody ili VIEH). *Energy Policy*, 2016;5:44–51 (in Russ.).

[21] Popel O.S., et al. Atlas of solar energy resources in Russia (Atlas resursov solnechnoj ehnergii na territorii Rossii). Moscow: Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, 2010, p. 81 (in Russ.).

[22] Reference book on the climate of the USSR. Issue. 24. The Yakut ASSR. Part 1. Solar radiation, radiation balance and sunshine (Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 24. YAkutskaya ASSR. CH. 1. Solnechnaya radiaciya, radiacionnyj balans i solnechnoe siyanie). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1967, p. 96 (in Russ.).

[23] Popel O.S., et al. The use of renewable energy sources for energy supply to consumers in the Arctic zone of the Russian Federation (Ispol'zovanie vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii dlya ehnergosnabzheniya potrebitelej v arkticheskoy zone Rossijskoj federacii). *The Arctic: Ecology and Economics*, 2015;1(17):64–69 (in Russ.).

[24] Gabderakhmanova T.S., et al. Some aspects of the development of renewable energy in the Arctic zone of the Russian Federation (Nekotorye aspekty razvitiya vozobnovlyaemoy ehnergetiki v arkticheskoy zone RF).

*International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2016;19–20:41–53 (in Russ.).

[25] Law "On renewable energy sources of the Republic of Sakha (Yakutia)" dated 27.11.2014 No. 313-V (as amended on: 28.02.2017) (Zakon "O vozobnovlyaemykh istochnikah ehnergii Respubliki Saha (Yakutiya)" ot 27.11.2014 g. № 313-V (s izmeneniyami na 28.02.2017). Available on: <http://docs.cntd.ru/document/445029370> [25.09.2017] (in Russ.).

[26] Ivanova I.Yu., et al. Substantiation of the use of solar plants in the Verkhoyansk area of the Sakha Republic (Yakutia) (Obosnovanie celesoobraznosti ispol'zovaniya geliostanovok v Verkhoyanskom rajone respubliki Saha (Yakutiya). *Life Safety*, 2014;6:34–39 (in Russ.).

[27] Koryakin A.K. Experience of exploitation of solar generation systems in the Far North conditions (Opyt ehkspluatacii sistem solnechnoj generacii v usloviyah Krajnego Severa). *Proceedings of the V international conference "Renewable energy in isolated systems of the Russian Far East. Yakutsk*, 2017. Available on: [http://www.eastrenewable.ru/upload/iblock/d5a/4\\_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf](http://www.eastrenewable.ru/upload/iblock/d5a/4_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D0%BD.pdf) [27.09.2017] (in Russ.).

[28] Materials of the International Conference "Development of Renewable Energy in the Far East" (Materialy Mezhdunarodnoj konferencii "Razvitie vozobnovlyaemoy ehnergetiki na Dal'nem Vostoke"), Available on: <http://www.eastrenewable.ru> [27.09.2017] (in Russ.).

[29] Berdin V.Kh., et al. Renewable energy sources in isolated settlements of the Russian Arctic (Vozobnovlyaemye istochniki ehnergii v izolirovannykh naseleennykh punktah Rossijskoj Arktiki). Moscow: World Wildlife Fund (WWF), 2017, p. 80 (in Russ.).

[30] Energy Strategy of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period to 2030 (Energeticheskaya strategiya Respubliki Saha (Yakutiya) na period do 2030 goda). Yakutsk, Irkutsk: Media Holding "Yakutia", 2010, p. 328 (in Russ.).

[31] Soloviev D.A., Morgunova M.O., Gabderakhmanova T.S. Adaptation of the energy infrastructure in the Arctic to climate changes by using renewable energy sources (Adaptaciya ehnergeticheskoy infrastruktury v Arktike k klimaticheskim izmeneniyam s ispol'zovaniem vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii). *Energy Policy*, 2017;4:72–80 (in Russ.).

Транслитерация по BSI

