

Российский союз научных и инженерных организаций

Комитет по проблемам применения
возобновляемых источников энергии



XI Международная ежегодная конференция
**«Возобновляемая и малая энергетика
2014»**

Сборник трудов

Под редакцией П.П. БЕЗРУКИХ
С.В. Грибкова

Москва

2014 г.

УДК 620 (075.8)
ББК 31.17
С 65

**Сборник трудов XI международной конференции
«Возобновляемая и малая энергетика 2014» / ред. П.П.Безруких,
С.В.Грибков. – М.: РосСНПО, 2014. – 294 с.**

ISBN 978-5-90306-334-2

В сборнике трудов XI международной конференции «Возобновляемая и малая энергетика 2014», содержатся статьи докладов участников конференции по актуальным вопросам разработки, внедрения, перспективам развития и применения возобновляемых источников энергии в России.

Редколлегия

Безруких П.П. – гл. редактор, д.т.н., академик-секретарь РИА, Председатель Комитета ВИЭ РосСНПО
Грибков С.В. – зам.гл.редактора (член-корр. РИА), в.н.с. НИМК ЦАГИ им.проф Н.Е. Жуковского, ген. дир. ЗАО НИЦ «Виндтех»
Бутузов В.А. – д.т.н., профессор, директор ООО «Энерготехнологии»
Елизартов В.В. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
Закоров Д.Г. – д.т.н., профессор, генеральный директор Ассоциации энергетиков Западного Урала
Кирпичникова И.М. – д.т.н., профессор, зав.кафедрой «Энергоснабжения» Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск
Кочаков Е.П. – д.т.н., профессор ДГТУ, зав.лаб турбин, г.Владивосток
Маслов Л.А. – д.т.н., гл.научн.сотр. НИМК ЦАГИ им.проф Н.Е. Жуковского
Николаев В.Г. – д.т.н., директор АНО «Атмосфера»
Панихава – д.т.н., профессор, зам.директора ООО «Экорос»
Сидоренко Г.И. – д.т.н., профессор НОЦ «Возобновляемые источники энергии» СПбГТУ г. Санкт-Петербург
Соловьев А.А. – д.т.н., профессор, зав.лабораторией ВИЭ МГУ
Стребков Дмитрий Семенович – директор ВИСХ, академик РАН
Гомиров Г.В. – д.т.н., профессор, генеральный директор ОАО «Геотерм»
Харченко В.В. – д.т.н., профессор, в.н.с. ВИЭСХ
Шкеленко С.Е. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Атомная энергетика» Уральского Государственного технического университета
Юдаев И.В. – д.т.н., декан ф-та «Электроснабжения» ВоГАУ

© Безруких П.П., Грибков С.В., 2014

© Авторы, 2014

ISBN 978-5-90306-334-2

© Комитет ВИЭ РосСНИО



12+



ЭЛЕКТРО

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ, АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОМЫШЛЕННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

26-29
мая
2014



XI Международная ежегодная конференция «Возобновляемая и малая энергетика-2014»

27-28 мая 2014 года

Конгресс-Центр Экспоцентра, г.Москва

ПРОГРАММА

27 мая – день первый

Регистрация 10.00-11.00

Открытие конференции 11.00

№	Название доклада	Время
	Открытие конференции	11.00
	Вступительное слово Безруких Павел Павлович д.т.н., академик-секретарь РИА, Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО	
1	Безруких Павел Павлович д.т.н., академик-секретарь РИА, Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО Эффективность возобновляемой энергетики	11.15
2	Есяков Сергей Яковлевич Депутат Госдумы. Тема согласуется	11.35
3	Стребков Дмитрий Семенович Директор ВИЭСХ, академик РАН Инновационные разработки ВИЭСХ в возобновляемой энергетике	11.55
4	Егистратов Виктор Васильевич директор НОЦ «ВИЭ», д.т.н., профессор Научно-технические проблемы энергоснабжения северных регионов России и шельфа Арктики с использованием возобновляемых источников энергии	12.15
5	Соловьев Александр Алексеевич Д.ф.-м.н. профессор, заведующий НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова География в возобновляемой энергетике	12.35
6	Харченко Валерий Владимирович, д.т.н., проф., главный науч. сотр ВИЭСХ Фотоэлектрические тепловые модули	12.55
7	Бутузов Виталий Анатольевич д.т.н., генеральный директор Новости русской гелиоэнергетики	13.15
8	Николаев Владимир Геннадьевич Д.т.н., Директор АНО «Атмограф» Предложения по коррекции принятого механизма поддержки развития отечественной ветроэнергетики	13.35

Возобновляемая энергетика как раздел естественных и гуманитарных наук изучает закономерности формирования, пространственно-временного распределения и методов использования природных запасов, постоянно действующих или периодически возникающих в географической оболочке потоков энергии. В современных направлениях возобновляемых источников энергии достаточно широко представлены технические, экономические, финансовые исследования и разработки[1]. Гораздо меньше внимания уделяется рассмотрению географических аспектов возобновляемой энергетики. В условиях наметившихся тенденций интенсивного наращивания средств извлечения из окружающей среды энергетических возобновляемых ресурсов и потребности в принятии обоснованных технических и управленческих решений по продвижению технологий использования возобновляемых источников энергии в различных регионах России, географические задачи оценки реальных объемов энергопотенциалов территориальной доступности возобновляемых энергоресурсов для их преобразования в формы пригодные к практическому употреблению, приобретают особую значимость. В настоящей работе представлены постановки наиболее актуальных географических задач современной энергетики и некоторые результаты работ по географии возобновляемых энергоресурсов и методам использования современных геоинформационных и инженерных технологий, выполняемых на географическом факультете Московского университета в лаборатории возобновляемых источников энергии.

В постановочном плане к традиционным задачам географии в контексте развития возобновляемых источников энергии добавились исследования по разработке технологий эколого-энергетического развития. Они наряду с проведением фундаментальных работ по проблеме рационального использования возобновляемых энергетических ресурсов, устойчивого развития общества и экологии окружающей среды, включали в себя создание прикладных инженерно-технологических моделей возобновляемых источников энергии, предназначенных для практической реализации экосистемных услуг, обеспечивающих эффективное взаимодействие природы, хозяйства и населения в различных пространственно-временных масштабах глобальной и региональной энергетики. В числе приоритетных географических вопросов рассматривались технологические решения по

комплексной оценке пригодности территорий для различных форм использования возобновляемых энергоресурсов, включая оценки биологической продуктивности возобновляемых энергоносителей, моделирование экологической и инженерно-технической эффективности инновационных энергетических проектов.

В направлении развития географических задач по оценке динамики развития возобновляемых источников энергии были разработаны аналитические методы географического прогноза энергопотребления. Прогностический анализ динамики использования энергоресурсов, как правило, базируется на результатах многоаспектного междисциплинарного обсуждения. По результатам, которого создаются численные модели прогноза с многочисленными способами описания внутренних связей в различных системах потребителей энергии их взаимоотношений с внешней средой [2]. Качество прогнозов оказывается зависящим от интуиции специалистов и потому, в большинстве случаев, содержит значительные погрешности. Громоздкость математических расчетов, необходимость применения численных методов затрудняют проверку результатов и при наличии логических неточностей приводят к быстрой потери прогнозами своей актуальности.

Главным недостатком прогностических моделей, является отсутствие функциональных соотношений аналитического типа, которые позволяли бы, не прибегая к трудоемким и длительным вычислениям производить непосредственное определение темпов потребления энергии, эффективности использования энергии по отдельным технологиям, допустимой интенсивности использования природных ресурсов. Аналитические уравнения прогноза развития источников энергии должны определяться принципами эволюции термодинамических систем. Для феноменологического описания динамики потребления энергии следует определить характерные для энергетических сообществ обобщенные параметры состояния. В качестве таких параметров можно использовать скорость потребления первичной энергии и численность населения. Скорость энергопотребления и численность потребителей энергии с учетом соответствия основным постулатам термодинамики, должны быть связаны между собой функциональной зависимостью в виде временного уравнения энергетического состояния [3].

$$(e + 3/\tau^2)(3\tau - 1) = 8n. \quad (1)$$

В уравнении (1) в качестве безразмерных величин фигурируют соответственно: e -скорость энергопотребления; n -численность населения; τ - время. Они нормированы на характерные размерные значения - $[e_k] = \text{тут/год}$, $[n_k] = \text{чел}$, $[\tau_k] = \text{год}$, являющиеся корнями

уравнения (1). Эти величины связаны между собой соотношением, определяющим универсальную константу ускорения энергопотребления R :

$$R = \frac{e_k}{n_k \cdot \tau_k}. \quad (2)$$

С использованием уравнения (1) были выполнены расчеты динамики энергопотребления для различных регионов мира, в том числе и для России. Результаты вычислений иллюстрируются системой диаграмм уравнения состояния (1) (рис.1). Обращает на себя внимание важное следствие о том, что изотерические линии в приведенных координатах (скорость энергопотребления - обратное время) в различных регионах мира сводятся к одной кривой, соответствующей энергетически подобным системам. Универсальность уравнения энергетического состояния (1) по отношению к различным системам потребления энергии определяет принцип соответственного потребления первичной энергии. В соответствии с этим принципом различные регионы, удовлетворяющие одному и тому же приведенному уравнению энергетического состояния и имеющие одинаковые приведенные параметры, находятся в соответственных энергетических состояниях.

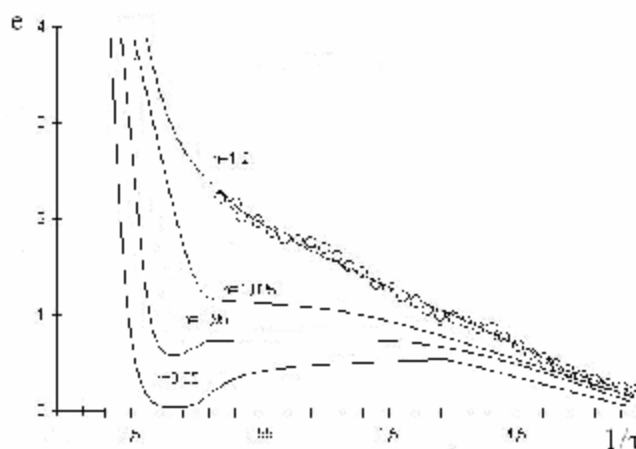


Рис. 1. Диаграмма приведенного уравнения энергетического состояния (1). Сплошные линии - расчет при различных значениях безразмерного параметра численности n . Точки изолиния $n=1,2$ соответствует сводным фактическим данным [4] временного изменения нормированного энергопотребления в различных регионах мира.

Вычисления, проводились при: $R = 0,5 \cdot 10^{-3}$ тунт/чел·год², $\tau_k = 1200$ год; $n_k = 0,4 \cdot 10^9$ чел; $e_k = 0,25 \cdot 10^{10}$ тунт/год. Численное значение параметра R для всех регионов мира, в том числе и России, в доверительном диапазоне погрешностей оказалось одним и тем же. Фактически эту константу можно рассматривать как предельно допустимое подушное ускорение энергопотребления. В пересчете, например, на уголь

ускорение энергопотребления одного человека не должно превышать $0,5 \text{ кг/год}^2$, а для электроэнергии- $0,47 \text{ Вт/год}^2$.

Особенность предлагаемого уравнения энергетического состояния состоит в том, что переход от традиционных трендов для самой величины энергопотребления к зависимостям скорости энергопотребления унифицирует пространственно-временную динамику потребностей в энергии, производимой различными источниками энергии, и выявляет универсальную константу, аккумулирующую в себе многочисленные природные императивы. Рассмотренная аналитическая модель энергетического состояния отражает, по-видимому, общую тенденцию развития энергетики, в целом, связывая ее со скоростью потребления энергии и темпами роста населения.

К весьма важной проблеме возобновляемой энергетики, имеющей практическую значимость относится задача определения потенциала возобновляемых ресурсов. Для оценки возобновляемых энергетических ресурсов в настоящее время принято рассчитывать последовательно три потенциала: валовый, технический, как часть от валового и экономический, как часть технического, который принимается в качестве реально реализуемого [5]. Необходимость уточнения оценок потенциалов гидроресурсов применительно к реализации проектов малой гидроэнергетики, обосновывалась в [6]. Предлагалось проводить оценки выявленного экономического гидроэнергетического потенциала региона с учетом необходимости автономного энергообеспечения конкретной территории в зависимости от номинала душевого энергопотребления и плотности поселений стратегии развития региона. Расчеты подобного потенциала следует рассматривать как более достоверные при оценках потенциальных энергетических возможностей использования возобновляемых энергоресурсов, необходимых для принятия объективных управленческих решений по продвижению маломасштабных гидроэнергетических проектов. Рассматривая нетрадиционные возобновляемые источники энергии в целом, следует иметь ввиду, что их ресурсы в большей степени, чем любые другие зависят от географических условий и нуждаются в детализации потенциала с учетом доступности территорий регионов для их освоения. Все существующие в настоящее время карты солнечной и ветровой энергии предоставляют наглядную общую картину пространственного распределения возобновляемых энергоресурсов практически по всем регионам. Но они не содержат детальных данных, необходимых для получения сведений о фактически доступных значениях потенциала возобновляемых энергоресурсов на конкретных площадях возможного размещения энергетических установок. Для универсализации оценок потенциалов возобновляемых энергоресурсов необходимо принимать во внимание степень географической доступности потенциальных ресурсных

возможностей конкретных территорий. Наряду с учетом массивов многолетних метеонаблюдений и баз данных, содержащих климатологическую информацию, востребованную в возобновляемой энергетике с полным охватом всей территории для оценки доступности практического и реального извлечения энергоресурсов, возникает потребность в расчетах удельной мощности возобновляемых источников энергии, приходящейся на территории с площадями, свободными от антропогенного использования и незанятыми лесными и другими природными ландшафтами.

При расчетах географического доступного для практического использования потенциала возобновляемых энергетических ресурсов нами предлагается использовать следующее соотношение

$$G = \alpha \cdot \omega_c \frac{f_r}{f} . \quad (3)$$

Здесь α - территориальная плотность энергии вырабатываемая конкретными энергоустановками на основе возобновляемых источников энергии, [Вт /м²]; ω_c - свободная площадь территории не занятая землепользованием, промышленными, жилищными строениями, прочей антропогенной инфраструктурой и природными ландшафтами, [м²]; f_r - площадь территории, с интенсивностью возобновляемых ресурсов w [кВт ч/ м² год] необходимых для энергообеспечения потребностей региона, [м²] ; f - площадь территории, необходимая для размещения объектов возобновляемой энергетики [м²].

В качестве примера, иллюстрирующего методику определения географически доступного потенциала солнечной энергии с электрической генерацией СЭС, приведем результаты оценочных расчетов для Краснодарского края. Принимаем в качестве образца для солнечных станций Краснодарского края действующую СЭС компании Activ Solar в Крыму (Родниковская) с установленной мощностью $P=7,5$ МВт из 33800 модулей, размещенных на площади $s=15$ га, которые обладают территориальной плотностью произведенной энергии

$$\alpha = \frac{P}{s} = 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} .$$

Общая потребляемая энергия на территории края при душевом потреблении 4000 кВт час год/чел при численности населения 5,1 млн чел составляет

$$E = 2,04 \cdot 10^{10} \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}} .$$

Электрическая энергия, которая может быть произведена подобными СЭС при коэффициенте использования установленной мощности $k=0.14$ в крае за год будет равна

$Q=61,3 \text{ кВт ч/ м}^2 \text{ год}$. Площадь территории необходимой для размещения подобных СЭС на территории края $f = \frac{E}{Q} = 333 \text{ км}^2$. Площадь территории, с возобновляемыми солнечными энергоресурсами интенсивности $w=1000 \text{ Вт ч/м}^2\text{год}$ необходимыми для полного энергообеспечения потребностей региона определяется как $f_r = E/w=20,4 \text{ км}^2$ (рис.2). Свободная площадь территории всей территории края $F=7,5 \text{ млн. га}$ не занятая землепользованием, промышленными, жилищными, прочей антропогенной инфраструктурой и природными ландшафтами за вычетом пашни 3,9 млн. га , лесов 1,8 млн. га и пр. 1,785 млн. га составляет $\omega_s=150\text{км}^2$.В итоге географически доступный потенциал возобновляемых солнечных ресурсов на территории Краснодарского края в соответствии с формулой (3) составляет $G=0,46 \text{ ГВт}$, что практически эквивалентно электроэнергии вырабатываемой одним блоком атомной станции.



Рис.2. Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность в средних значениях за год [7].

Для размещения солнечных станций соответствующих этому потенциалу должно быть задействовано территория на два порядка превышающая площадку атомной станции. Тем не менее площади предназначаемые для таких СЭС и составляют всего 0,5 % от общей территории края и составляют 0,14 часть свободных земель доступных для размещения солнечных станций. Географический потенциал солнечной энергии естественно имеет значительно меньшие значения всех традиционно рассчитываемых потенциалов для Краснодарского края. Для сравнения по данным [8] валовый потенциал солнечной энергии в Краснодарском крае равен $1,2 \cdot 10^8 \text{ ГВт}$, технический $-4,8 \cdot 10^7 \text{ ГВт}$, а экономический $-21,6 \text{ ГВт}$. Площади, необходимые для реализации экономического потенциала такой величины, в 6,43 раз превышают размеры свободных земель. Что касается возможной реализации СЭС с выше обозначенным техническим потенциалом, то свободных земель на территории Краснодарского края для такого проекта нет. Аналогичные расчеты могут быть выполнены для оценки географически доступных

потенциалов ветровой и других видов возобновляемых источников энергии применительно к различным субъектам Российской Федерации.

Для этой цели практически значимую роль приобретают задачи разработки и использования геоинформационных систем возобновляемых источников энергии, которые позволяют интегрировать и комплексно анализировать тематически объединенные и географически привязанные данные. По результатам изучения тематически близких геоинформационных ресурсов выделены различные типы геоинформационных систем (ГИС) в области возобновляемой энергетики по охвату территории [9]:

- локальные (геоинформационные системы для выбора площадки шельфовых ветроэнергетических станций, Нидерланды);
- региональные (атлас возобновляемой энергетики штата Вермонт, США);
- национальные (геоинформационные системы Национальной лаборатории возобновляемой энергетики США NREL);
- глобальные (геоинформационные системы и программы 3TIER Renewable Energy; Solar & wind energy resource assessment SWERA и др.).

Анализ зарубежных геоинформационных систем, а также практических потребностей отечественной отрасли возобновляемой энергетики позволил определить структуру и состав баз данных геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России», которая включает в себя:

– сбор, обобщение и формирование (1) массивов географически привязанных данных о ресурсах возобновляемых источников энергии на территории регионов Российской Федерации, (2) климатических данных, необходимых для моделирования работы установок на возобновляемых источниках энергии, (3) информации о действующих объектах энергетики на возобновляемых источниках энергии;

– математическое моделирование работы установок и гибридных систем на возобновляемых источниках энергии с учетом природно-климатических условий России;

– визуализацию информации в виде карт, таблиц, графиков, рисунков и фотографий;

– создание дополнительных массивов данных, тематически связанных с возобновляемой энергетикой (научно-технические и образовательные организации, специализирующиеся в области возобновляемой энергетики; фирмы-производители оборудования, проектные организации; региональные программы и региональное законодательство в области возобновляемой энергетики т.д.).

Важнейшим этапом создания геоинформационных систем является сбор первичной информации, которая должна составить основу тематических и атрибутивных баз данных. Поскольку по некоторым разделам (например, ресурсы солнечной и ветровой энергии;

ресурсы биомассы и др.) существует целый ряд разнородных информационных источников, характеризующихся различной степенью полноты, достоверности и адекватности выполнялись специальные аналитического исследования с целью создания иерархии доступных источников данных и выявления соответствия содержания этих источников задачам создания геоинформационных систем.

Технология создания геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии России» предусматривала проведение верификация базы данных NASA SSE для территории России и на основе этой базы данных, а также массивов многолетних отечественных метеонаблюдений и создание электронной база данных, содержащей климатологическую информацию, востребованную в возобновляемой энергетике с полным охватом всей территории Российской Федерации.

Помимо перечисленных выше баз данных и источников информации для них, в геоинформационную систему включены массивы атрибутивных данных, в частности по инфраструктуре возобновляемой энергетике России. Номенклатура массивов данных по объектам возобновляемой энергетике России включает в себя действующие, строящиеся и планируемые к введению объекты по всем отраслям возобновляемой энергетике (солнечная, ветровая, геотермальная, приливная энергетика и использование биомассы для получения энергии), показатели их работы (установленная мощность, статистические данные о выработке энергии, иные характеристики). В составе геоинформационной системы в виде баз данных и интерактивных карт представлены данные о научных и проектных организациях, высших учебных заведениях и иных организациях, специализирующихся в области возобновляемой энергетике; фирмам–производителям и поставщикам оборудования для возобновляемой энергетике, консалтинговым фирмам и т.д.

Разработанная технологическая схема по сбору и обработки геоинформационного массива возобновляемых энергоресурсов для всей территории России, позволяет получать любые выборки данных для отдельных географических мест. Апробация предложенных методик и баз данных для оценки потенциала возобновляемых энергоресурсов различных территорий России предоставляет условия для осуществления практически значимого инжиниринга и типологического районирования по обеспеченности ресурсами возобновляемых источников энергии для различных пространственно-временных масштабов.

Задачи изучения региональных особенностей использования возобновляемых энергоресурсов, обеспечивающие максимально возможную адаптацию человека и его жизнедеятельности к структуре и динамике географического пространства, получили

развитие в направлении разработки методологических принципов физико-географического моделирования преобразователей возобновляемых энергоресурсов атмосферы. Предложены новые технологические решения повышения эффективности метод аэротермического преобразования солнечной энергии в электричество, определяющие функционирование оптимальных режимов управления интенсивностью искусственных ветровых течений в моделях солнечных электростанций. Методом математического моделирования проанализирован термодинамический цикл аэротермической трансформации солнечной энергии. Установлена калибровочная инвариантность уравнений переноса энергии и импульса, с использованием которой определены инженерно - технологические критерии эффективного преобразования инфракрасной составляющей солнечной радиации в энергию низконапорных течений.. Сформулированы технологические и эколого-географические требования для строительства промышленных аэротермических электростанций и оценки возможностей их географического размещения .

Выводы

Выполненные нами работы направленные на разработку географических аспектов возобновляемой энергетики свидетельствует о необходимости организации масштабных исследований в части формирования и оценки экономического и географического ресурсного потенциала возобновляемой энергетики в Российской Федерации. Без создания достаточно подробной и объективно-достоверной картографической и аналитической информации с оцифрованными по всем российским регионам значениями потенциала развития возобновляемых источников энергии не будет оснований для расширения сферы их практического внедрения в общую энергетику.

Ключевые слова: возобновляемые энергоресурсы, географически доступный потенциал, геоинформационные системы

Key words: renewable energy, geographically accessible potential, geographic information systems

Список литературы:

1. Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии.- М.:ГНУ ВИЕСХ РАСХН,2005.
2. Makarov A. A. Quality of Energy: Way to the Global Problem. // Proceedings of Summer School. CEES. Princeton.: University Press,1990.
3. Соловьев А.А. Динамика потребления энергии на основе уравнений энергетического состояния.// Изв. Вузов, сер. энергетика, 2000.- №3, С. 76-83.
4. Макаров А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство.- М.: Энергоатомиздат, 1998.

5. Энергетические ресурсы СССР /под ред. А.Н. Вознесенского.- М.: Наука ,1967.-600 с.
6. Бляшко Я.И., Шпицберг В.Е. Проекты создания малых ГЭС и возможности повышения эффективности их использования // Теплоэнергетика.-2012. №11.
7. ГИС «Возобновляемые источники энергии России» [Электронный ресурс] URL: <http://gis-vie.ru/>.
8. Григораш О. В. Возобновляемые источники энергии: монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов; под общ. ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012, – 272 с.
9. Gridasov M.V., Kiseleva S.V, Nefedova L.V. et al Development of the Geoinformation System “Renewable Sources of Russia”: Statement of the Problem and Choice of Solution Methods // Thermal Engineering, 2011, Vol. 58, No. 11, pp. 924–931.