

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВЕТРО- И ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-05-90707-моб_ст).

Рассмотрены возможности использования в Алтайском крае природных возобновляемых источников энергии, в частности энергии ветра и солнца, важнейшими достоинствами которых являются повсеместное распространение, практически неисчерпаемый потенциал и экологическая чистота. Исследованы климатические условия, определяющие ветровой и радиационный режим атмосферы. Проведена оценка потенциальных ветро- и гелиоэнергетических ресурсов территории Алтайского края. Выявлены районы, благоприятные для развития ветро- и гелиоэнергетики.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; ветроэнергетические ресурсы; гелиоэнергетические ресурсы.

На современном уровне развития цивилизации многие государства мира понимают необходимость развития альтернативной энергетики, поэтому активно поддерживают развитие этой отрасли. К настоящему времени за рубежом накоплен богатый опыт использования ветровой и солнечной энергии. Существует много институтов, компаний-производителей, реально работающие парки установок альтернативной энергетики.

Важными достоинствами возобновляемых энергетических ресурсов являются практически неисчерпаемый потенциал и экологическая чистота. В связи с этим оценка потенциальных гелио- и ветроэнергетических ресурсов в Алтайском крае является актуальной.

Перспективность исследования связана с острым энергетическим дефицитом в Алтайском крае и наличием большого числа населенных пунктов без централизованного энергоснабжения. В связи с интенсивным развитием рекреационной деятельности в Алтайском крае, открытием большого числа туристических баз, баз отдыха в районах, где отсутствует централизованное энергоснабжение, необходимо проведение исследования и затем использование экологически безопасных энергоресурсов, которыми богат Алтайский край.

Важными особенностями Сибирского региона являются большое рассредоточение потребителей тепловой и электрической энергии, неравномерное ее потребление в течение года и отсутствие собственных источников энергии. Мелкие населенные пункты потребляют относительно небольшое количество энергии и тем самым не способствуют формированию мощной централизованной энергетики. Автономными экологически чистыми источниками энергии могут служить гелиоэнергетические и ветроэнергетические установки.

Задачи использования нетрадиционной энергетики в Алтайском крае требуют создания современной научно-методической основы оценки потенциальных гелио- и ветроэнергетических ресурсов.

Использование возобновляемых энергоресурсов может резко снизить расходы бюджетных средств на завоз топлива для дизельных электростанций, повысить надежность обеспечения населения электричеством и теплом. Потребителями энергии ветра на территории края могут стать фермерские и крестьянские хозяйства, сфера малого и среднего бизнеса, туристические базы, а также иные объекты рекреационной инфраструктуры. Использование ветровой энергии может заинтересовать военных: для автономного энергообеспечения отдаленных пограничных застав, куда не рентабельно прокладывать энергомагистраль, а использо-

вание дизель-генераторов осложнено подвозом топлива и увеличением цен на него.

Энергия ветра наиболее широко и эффективно используется в США, Дании, Германии и Испании. На долю этих стран приходится свыше 75% всего мирового парка ветроэнергетических установок (ВЭУ). Также активный интерес проявляют развивающиеся страны (например, Индия, Китай, страны Южной Америки). Установленная мощность всех эксплуатируемых ветроагрегатов в мире в конце прошлого века достигла 14 000 МВт (на Европу из них приходится более 9 000 МВт). Суммарная энергия ветра, технически доступная для использования, оценивается величиной, которая в четыре раза больше, чем ежегодное мировое потребление электроэнергии в настоящее время [1]. На территории Внутренней Монголии сейчас производится 70 МВт ветряной электроэнергии.

В России также работают ветровые установки. Например, вблизи пос. Куликово Калининградской области (ветропарк из 21 ветроустановки общей мощностью 5,1 МВт), на о. Беринга Камчатской области (2 ветроустановки по 250 кВт), в районе дер. Тюпильды Туймазинского района Республики Башкортостан (4 ветроагрегата по 550 кВт) и др. Однако энергия, вырабатываемая имеющимися ВЭУ, в общей картине энергопроизводства и энергопотребления является настолько незначительной, что не учитывается в энергосистеме РФ [1].

Солнечную энергию активно используют многие страны мира: Германия, Австрия, Греция, Израиль, Япония, Испания, Италия, США и др. Так, в США и Канаде более 60% плавательных бассейнов обогреваются с помощью солнечной энергии, а в Израиле горячее водоснабжение 80% жилых домов обеспечивается солнечными водонагревателями [2]. В Германии 25 мая 2012 г. был поставлен рекорд в области гелиоэнергетики: гелиоустановки достигли совокупной мощности 22 ГВт/ч (это почти треть потребления Германии в рабочий день). Германия является одним из лидеров по производству возобновляемой энергии: страна получает из этих источников около 20% необходимого электричества. Здесь установлено примерно столько же солнечных электростанций, сколько во всех остальных странах мира, вместе взятых [3].

В России гелиоэнергетические установки пока не получили широкого применения. Примеры использования энергии солнца с помощью солнечных батарей, солнечных коллекторов имеются в Краснодарском, Ставропольском краях, Ростовской, Томской областях

и в некоторых других районах. Одна из попыток использования гелиоресурсов в энергетике Алтайского края была предпринята в г. Барнауле. В 2006 г. была введена в эксплуатацию активная установка, которая обеспечивает нагрев горячей воды в системе горячего водоснабжения гостиницы «Барнаул». Площадь солнечного коллектора составляет 70 м², и за два года работы установки с мая по сентябрь потребление энергии на горячее водоснабжение сократилось в два раза.

Согласно Генеральной схеме размещения ветроэнергетических станций Российской Федерации, одной из перспективных территорий является юг Западной Сибири, в частности западная часть Алтайского края [4].

Районирование территории России по условиям обеспеченности гелиоресурсами, выполненное в Главной геофизической обсерватории [5], показало приоритет Западной Сибири на широтах 50–60° с.ш. по потенциалу солнечной радиации по сравнению с другими регионами.

Для выявления ветро- и гелиоэнергетического потенциала исследуемой территории необходимо детальное изучение факторов климатообразования и клима-

тических условий, определяющих соответственно ветровой и инсоляционный режимы.

Алтайский край расположен на юго-востоке Западной Сибири в бассейне р. Оби между 51–54° с.ш. и 78–86° в.д. Площадь составляет 168 тыс. км², протяженность с запада на восток – 600 км, с севера на юг – 400 км. Алтайский край обладает высоким климатическим потенциалом, который в настоящее время используется в аграрном секторе, в рекреационной сфере, а также есть все предпосылки для использования его в будущем с целью развития альтернативной энергетики.

В связи со значительной ландшафтно-климатической неоднородностью исследуемого региона для оценки ветрового режима и ветроэнергетического потенциала были выбраны метеорологические станции, расположенные в разных районах: в юго-западной части Алтайского края (Рубцовск), северо-западной (Славгород), юго-восточной (Бийск-Зональная), северо-восточной (Барнаул, Тогул). Особенности местоположения метеорологических станций Алтайского края приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Местоположение метеорологических и актинометрических станций Алтайского края

Станция	Широта, ° ' с.ш.	Долгота, ° ' в.д.	Высота, м	Местоположение [6]
Тогул	53 28	85 55	272	Северо-восток Алтайского края. Отроги Салаирского кряжа, холмистый рельеф, степная зона
Барнаул	53 20	83 42	184	Северо-восток Алтайского края. Приобское плато, левый берег Оби в месте впадения р. Барнаулки в р. Обь. Местность слабо холмистая, степная
Бийск-Зональная	52 41	84 57	228	Юго-восток Алтайского края. Предалтайская равнина. Степная зона. Местность изрезана оврагами глубиной до 1 м
Рубцовск	51 30	81 13	219	Юго-запад Алтайского края. Предалтайская равнина. На берегу р. Алей (приток Оби). Местность степная
Славгород	52 58	78 39	126	Северо-запад Алтайского края. Центральная часть Кулундинской степи, между оз. Секачи и Большое Яровое. Местность степная
Камень-на-Оби	53 48	81 20	146	Северная часть Алтайского края. На левом берегу р. Обь, на окраине Новосибирского водохранилища. Холмистый рельеф. Местность степная
Алейская	52 31	82 46	174	Центральная часть Алтайского края. Восточная окраина Приобского плато. Местность слабо холмистая. В 2,5 км к востоку протекает р. Алей
Родио	52 30	80 12	158	Запад Алтайского края. Юго-восточная часть Кулундинской степи, начало Приобского плато. Местность слабо холмистая, степная
Ключи	52 15	79 08	143	Запад Алтайского края. Юго-восточная часть Кулундинской степи. Рельеф равнинный. Местность степная. В 5 км к западу – сосновый лес. В окрестности – небольшие озера
Волчиха	52 01	80 22	208	Юго-запад Алтайского края. Юго-восточная часть Кулундинской степи. Местность слабо холмистая, к северу переходит в равнинную степь
Змеиногоorsk	51 09	82 12	355	Юг Алтайского края. У подножия Колыванского хребта. Долина р. Змеевки и Карболихи
Благовещенка	52 46	84 57	260	Северо-запад Алтайского края. Центральная часть Кулундинской степи. Местность равнинная, покрыта озерами. В 8 км к юго-западу находится крупное оз. Кулундинское

Ветроэнергетический потенциал. Для оценки ветроэнергетического потенциала Алтайского края было изучено пространственно-временное распределение основных характеристик ветра. С этой целью были проанализированы данные о ветровом режиме из справочников [7, 8] за периоды наблюдений 1936–1960 гг. и 1936–1980 гг. Для более позднего периода (2005–2011 гг.) данные о скорости ветра в стандартные сроки наблюдений на высоте флюгера (10–12 м) были взяты с электронного ресурса www.gr5.ru [9].

В результате анализа многолетних данных (табл. 2) было установлено, что среднемесячные значения скорости ветра на территории Алтайского края изменяются от 2,9 м/с (ст. Бийск-Зональная) до 5,2 м/с (ст. Руб-

цовск). Наибольшие скорости ветра наблюдаются в районах Кулундинской степи (ст. Рубцовск, Славгород). В годовом ходе большая скорость ветра в степных районах и лесостепи наблюдается зимой и в переходные сезоны и составляет 5–6 м/с, летом она уменьшается до 3–4 м/с.

Анализ повторяемости разных скоростей ветра показал, что число дней со скоростью более 8 м/с довольно велико, особенно на северо-западе и юго-западе территории края: 177 дней на ст. Рубцовск и 136 дней на ст. Славгород. В остальных районах оно несколько меньше: 92 дня на ст. Барнаул, 88 дней на ст. Тогул, 54 дня на ст. Бийск [8]. Среднее число дней с сильным ветром (со скоростью, равной или превышающей

15 м/с) составляет от 19 дней в год (ст. Бийск-Зональная) до 56 дней (ст. Рубцовск). Скорости ветра более 20 м/с наблюдаются значительно реже – 3–5 дней в год (в Рубцовске – 18 дней). Максимальные скорости ветра в отдельные дни могут достигать 34–40 м/с. Значительные скорости ветра являются опасными для эксплуатации ВЭУ.

Автоматическая остановка современных ВЭУ происходит обычно при максимальной скорости ветра 25–30 м/с [10]. Почти на всей территории Алтайского края (кроме небольшой крайней южной части) скорости ветра, возможные один раз в год, составляют 24 м/с, в пять лет – 29 м/с, в 10 лет – 31 м/с, в 20 лет – 33 м/с [11].

Таблица 2

Среднемесячные и среднегодовые скорости ветра на территории Алтайского края, м/с

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Период наблюдений 1936–1980 гг. [8]													
Барнаул	3,6	3,5	3,1	3,7	3,5	2,9	2,3	2,5	2,5	3,4	4,1	3,0	3,2
Бийск-Зональная	3,0	2,9	3,2	3,4	3,4	2,8	2,3	2,3	2,5	3,0	3,4	3,1	2,9
Рубцовск	5,9	5,8	5,4	5,3	5,3	4,7	3,9	3,8	4,2	5,4	6,1	6,3	5,2
Славгород	5,1	4,9	5,1	4,9	5,0	4,3	3,7	3,6	3,8	4,6	5,0	5,0	4,6
Тогул	3,7	3,6	3,8	4,1	4,5	3,6	2,9	3,0	3,5	4,3	4,5	4,0	3,8
Период наблюдений 2005–2011 гг.													
Барнаул	1,4	1,9	2,3	2,2	2,3	1,7	1,5	1,6	1,8	2,1	2,4	2,2	1,9
Бийск-Зональная	1,5	1,9	2,0	2,5	2,3	1,9	1,5	1,5	1,6	1,9	2,3	2,1	1,9
Рубцовск	3,6	4,0	4,3	4,1	4,3	3,8	3,1	3,3	3,4	3,6	4,5	4,4	3,9
Славгород	2,7	3,2	3,6	3,6	3,4	3,0	2,8	3	3,2	2,8	3,3	3,3	3,2
Тогул	2,4	2,5	2,7	2,7	2,8	2,3	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	2,7	2,5

Преобладающим направлением ветра на территории Алтайского края в среднем за год и почти во все месяцы является юго-западное, лишь в юго-западных районах – южное и юго-западное. Значительную повторяемость имеет западное направление ветра в северо-западной части территории, северо-восточное – в юго-западной, юго-восточной и центральной частях. На северо-востоке края летом наблюдается увеличение повторяемости ветров северного направления.

Повторяемость штилей, которые ограничивают использование ВЭУ, на равнинной территории Алтайского края невелика и составляет от 2 до 22% [8].

При современном уровне развития ВЭУ условия их экономически оправданной эксплуатации в зависимости от среднегодовой скорости ветра можно приближенно оценить следующим образом [12]. При скорости $V < 3$ м/с – условия бесперспективные для любых ВЭУ; при $3 \leq V < 3,5$ м/с – мало перспективные; при $3,5 \leq V < 4$ м/с – перспективные для ВЭУ малой мощности; при $4 \leq V < 5,5$ м/с – перспективные для ВЭУ малой и средней мощности; при $V \geq 5,5$ м/с – перспективные для всех ВЭУ.

В результате анализа табл. 2 было выявлено, что по данным [8] о средних скоростях ветра, наиболее благоприятны для размещения ВЭУ малой и средней мощности юго-западный (ст. Рубцовск) и северо-западный (ст. Славгород) районы края, для работы ВЭУ малой

мощности – северо-восточный район (ст. Тогул). Для ст. Барнаул, расположенной к юго-западу от ст. Тогул, и для юго-восточного района (ст. Бийск-Зональная) характерно уменьшение среднегодовых скоростей ветра до значений 3,5 м/с и менее, поэтому в этих районах нерентабельно и нецелесообразно развивать ветроэнергетику.

В последние годы (2005–2011 гг.) отмечается уменьшение скоростей ветра (табл. 2). В связи с этим для определения районов, которые можно использовать для размещения ВЭУ, необходимо дополнение информации о ветре на других метеорологических станциях, проведение микроклиматических исследований в разных районах Алтайского края (особенно в Кулундинской степи), расчет скоростей ветра на различных высотных уровнях в атмосфере.

Одним из важнейших показателей ветроэнергетических ресурсов является удельная мощность ветрового потока. Она может быть рассчитана по приближенной формуле [12]:

$$N = 1,16 (V_{cp})^3, \quad (1)$$

где N – удельная мощность ветрового потока, рассчитанная по средним значениям скорости ветра, Вт/м²; V_{cp} – средняя скорость ветра, м/с.

Распределение удельной мощности, рассчитанной по данным [8] (табл. 3), аналогично распределению средней скорости ветра.

Таблица 3

Удельная мощность ветрового потока на территории Алтайского края, Вт/м²

Станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Барнаул	54,1	49,7	34,5	58,7	49,7	28,3	14,1	18,1	18,1	45,6	79,9	31,3	38,0
Бийск-Зональная	31,3	28,3	38,0	45,6	45,6	25,5	14,1	14,1	18,1	31,3	45,6	34,6	28,3
Рубцовск	238,2	226,3	182,6	172,7	172,7	120,4	68,8	63,6	85,9	182,6	263,3	290,0	163,1
Славгород	153,8	136,5	153,9	136,5	145,0	92,2	58,7	54,1	63,6	112,9	145,0	145,0	112,9
Тогул	58,7	54,1	63,6	79,9	105,7	54,1	28,3	31,3	49,7	92,2	105,7	74,2	63,6

Годовые значения удельной мощности ветрового потока выше 50 Вт/м^2 наблюдаются на юго-западе Алтайского края (ст. Рубцовск), северо-западе (ст. Славгород) и северо-востоке (ст. Тогул). Если отмечается удельная мощность ниже 50 Вт/м^2 , то такие территории бесперспективны для развития ветроэнергетики любой мощности. В годовом ходе более высокие значения удельной мощности наблюдаются в марте–мае и в ноябре–декабре.

Гелиоэнергетический потенциал. Солнечная энергия может использоваться для получения как тепловой, так и электрической энергии. Практическое использование солнечной энергии не связано с загрязнением окружающей природы и нарушением теплового баланса.

Наиболее просто применять солнечную энергию для получения тепла для горячего водоснабжения. Очень подробно термодинамические аспекты проблемы использования солнечной радиации для нагрева воды рассмотрены в [13]. В условиях юга Сибири могут успешно эксплуатироваться солнечные коллекторы различных типов для нагревания помещений, воды, сушки кормов и т.д. Созданы промышленные образцы коллекторов мощностью до 3 кВт. Средний к.п.д. таких установок колеблется от 30 до 60%. Эксплуатация коллекторов в условиях Сибири (Алтайский край) в период с апреля по сентябрь позволяет выработать до 3 000 кВт·ч энергии [14]. Достигнутые в настоящее время технико-экономические показатели установок для получения тепла дают все основания для более широкого их внедрения.

Важно отметить, что за счет солнечной радиации в летний период можно создавать запасы тепла для обогрева жилых зданий, снабженных домашними аккумуляторами энергии, в октябре и даже в ноябре.

В Алтайском крае имеются довольно широкие возможности применения солнечных установок для индивидуальных потребителей, особенно в сельской местности.

Детальный анализ режима характеристик солнечной радиации, облачности, солнечного сияния на территории Алтайского края, выполненный на основе многолетних климатических материалов, позволил выявить особенности структуры и динамики полей исследуемых показателей.

На приход суммарной радиации и продолжительность солнечного сияния большое влияние оказывает облачность. На территории Алтайского края общая облачность увеличивается в направлении с запада на восток. Средние годовые значения количества общей облачности изменяются от 5,5 б на ст. Ключи до 6,5 б на ст. Тогул [8]. В летние месяцы количество общей облачности колеблется в пределах 5,0–6,1 б, наибольших величин оно достигает в октябре–ноябре (6,5–7,4 б).

В Алтайском крае повторяемость пасмурного состояния неба (8–10 б) по общей облачности изменяется в пределах 39–70%. Увеличение повторяемости пасмурного неба отмечается в осенние месяцы. Летом повторяемость пасмурного неба уменьшена, причем в июле она меньше, чем в другие летние месяцы. Число пасмурных дней в среднем за год уменьшено на западе территории (ст. Ключи – 62,4 дня) и увеличено на северо-востоке (ст. Тогул – 145 дней) и на юге (ст. Змеиногорск – 122,3 дня).

Повторяемость полужасного неба (3–7 б) на рассматриваемой территории не превышает 7–14% с октября по апрель и 20–28% в остальные месяцы (май–сентябрь).

Повторяемость ясного неба (0–2 б) больше, чем полужасного, в течение всего года. В январе–феврале она достигает наибольших значений 33–43%. Самая малая повторяемость ясного неба наблюдается в октябре – 22–29% по всей территории. Наибольшее число ясных дней отмечается в западной части Алтайского края (ст. Ключи – 65,6 дня за год), наименьшее – в северо-восточной (ст. Барнаул – 37 дней).

Продолжительность солнечного сияния на исследуемой территории довольно велика, выше, чем на тех же широтах европейской территории России. Увеличение продолжительности солнечного сияния, по данным шести метеорологических станций Алтайского края (Барнаул, Бийск-Зональная, Родионо, Алейская, Белокуриха, Змеиногорск) [15], происходит с северо-востока на юго-запад от 1936 до 2170 ч за год. Наименьшая продолжительность солнечного сияния наблюдается в декабре (42–73 ч), наибольшая – в июне (266–341 ч), что связано с увеличением продолжительности светового дня. Продолжительность солнечного сияния более 250 ч в месяц обеспечивает оптимальную эффективность работы любых гелиоустановок [5]. Обеспеченность 80–90% от этой величины также считается удовлетворительной для их нормальной работы. В Алтайском крае такая продолжительность солнечного сияния наблюдается с апреля по сентябрь.

Действительная продолжительность солнечного сияния за год составляет 44–47% от возможной. В ноябре–декабре это отношение не превышает 30%, а в июне–июле увеличивается до 51–61%.

Наибольшее число дней без солнца отмечается на юго-востоке территории на ст. Барнаул (70 дней за год), наименьшее – на западе на ст. Благовещенка (48 дней за год) [8]. Больше число дней без солнца наблюдается в ноябре–январе (9–15). В июне–июле на всей территории края число дней без солнца незначительно (0,2–1,0).

Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния 6 ч и более колеблется от 5 до 9% в декабре и январе, весной и в летние месяцы она изменяется в пределах 43–59% [15].

Приход суммарной солнечной радиации при ясном небе за месяц (год) определяет возможные суммы суммарной радиации за указанный период. Основным фактором, влияющим на приход суммарной радиации при ясном небе, является высота солнца. По данным актинометрической станции Благовещенка [8], средняя годовая сумма суммарной радиации составляет 6371 МДж/м^2 . В годовом ходе максимум средних месячных сумм суммарной радиации при ясном небе в Алтайском крае приходится на июнь, когда отмечается наибольшая высота солнца, минимальный приход суммарной радиации наблюдается в декабре при наименьшей высоте солнца.

Поступление радиации в естественных условиях в значительной степени зависит от облачности. Закономерности изменения месячных сумм суммарной радиации при действительных условиях облачности опреде-

ляются в основном особенностями годового хода возможной суммарной радиации и облачности. Годовая сумма суммарной радиации при средних условиях облачности на ст. Благовещенка составляет 4 785 МДж/м², т.е. фактически на земную поверхность поступает суммарной радиации 75% от возможной. Наибольшее отношение фактической суммарной радиации к возможной составляет 78–79% в июне–июле. Экстремальные значения суммарной радиации при наличии облачности

отмечаются в те же месяцы, что и в годовом ходе суммарной радиации при ясном небе.

Согласно критериям Б.П. Вейнберга [16], суммарная солнечная радиация может считаться «технически приемлемой» с того момента, когда ее интенсивность достигает 0,60 кВт/м². Максимально возможная месячная продолжительность работы солнечных установок при условии безоблачного неба в различных районах Алтайского края приведена в табл. 4.

Таблица 4

Возможная месячная продолжительность работы гелиоустановок при условии безоблачного неба ($Q \geq 0,60$ кВт/м²), ч

Широта, °с.ш.	Месяц					
	I	II	III	IV	V	VI
54	113	187	288	349	412	431
52	120	190	290	350	410	430

Широта, °с.ш.	Месяц					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
54	432	390	316	246	152	72
52	430	390	320	250	160	90

Из анализа этих данных следует, что возможная продолжительность работы гелиоустановок несколько возрастает с увеличением широты, и в июне–июле в пределах Алтайского края возможная продолжительность работы гелиоустановок может превышать 430 ч в месяц.

Наилучшим материалом для оценки потенциальных гелиоэнергетических ресурсов Алтайского края были бы многолетние данные актинометрических наблюдений на большом числе станций, распределенных достаточно равномерно по территории исследования. В пределах Алтайского края действует только одна актинометрическая станция – Благовещенка (табл. 1). Для оценки пространственного распределения гелиоресурсов по исследуемой территории информации одной актинометрической станции недостаточно, поэтому были использованы данные наблюдений за продолжительностью солнечного сияния по гелиографу и наблюдений за облачностью на большем количестве метеорологических станций, имеющих длительные ряды наблюдений (табл. 1).

Для исследования были привлечены данные справочников по климату СССР, научно-прикладного справочника, климатологических справочников СССР за отдельные годы, метеорологических и актинометрических ежемесячников.

Для оценки потенциальных ресурсов солнечной радиации необходимо использовать косвенные методы расчетов поступления суммарной солнечной радиации. Для выполнения расчетов по существующим эмпирическим формулам нужны данные о продолжительности солнечного сияния или о количестве облачности.

Для определения потенциальных гелиоэнергетических ресурсов Алтайского края в первую очередь необходимы годовые суммы суммарной радиации. Для расчета годовых сумм было использовано уравнение множественной регрессии (2), связывающее годовые суммы суммарной радиации ($\Sigma Q_{\text{год}}$), широту места (φ) и годовые суммы продолжительности солнечного сияния (SS) [17, 18]:

$$\Sigma Q_{\text{год}} = 1,17 \cdot SS - 23,5 \cdot \varphi + 3230, \quad (2)$$

где $\Sigma Q_{\text{год}}$ – годовая сумма суммарной радиации, МДж/(м²·год); φ – широта местности, градусы с.ш.; SS – годовая сумма числа часов солнечного сияния, ч.

Для получения уравнения были использованы данные по 15 актинометрическим станциям Западной, Восточной Сибири, Восточного Казахстана, расположенным от 48 до 60° с.ш.

Коэффициент множественной корреляции для указанных трех переменных значим при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и равен $0,98 \pm 0,01$. Средняя арифметическая погрешность расчета годовых сумм суммарной радиации равна 151 МДж/м², а среднее квадратическое отклонение составляет 174 МДж/м².

Для оценки надежности расчетов по формуле (1) было выполнено сравнение расчетных и фактических годовых сумм суммарной радиации на независимом материале. Расчетное значение суммарной радиации (4 718 МДж/м²) меньше фактического (4 785 МДж/м²) на ст. Благовещенка на 67 МДж/м², т.е. погрешность расчета составляет всего 1,4%. Она практически совпадает с погрешностью годовых сумм суммарной радиации, полученных по сетевым наблюдениям, которая составляет 1,5–2,0% [19].

Полученная зависимость позволяет значительно расширить сеть используемых метеорологических станций для расчета величин суммарной радиации.

Для получения месячных сумм суммарной радиации предлагается учитывать продолжительность солнечного сияния и полуденную высоту солнца [20, 21]:

$$\Sigma Q_{\text{мес}} = 0,0049 \cdot SS^{1,31} + 10,5 \cdot (\sin h_n)^{2,1}, \quad (3)$$

где SS – продолжительность солнечного сияния, ч; h_n – полуденная высота солнца, градусы.

Эту формулу можно использовать на больших территориях южнее 65° с.ш. [18].

Продолжительность солнечного сияния определяют из наблюдений по гелиографу на метеорологических станциях. В Алтайском крае таких станций немного (Барнаул, Бийск-Зональная, Родино, Алейская, Белокуриха, Змеиногорск). Поэтому была получена зависимость между продолжительностью солнечного сияния

и количеством облачности. Это важно, так как наблюдения за облачностью ведутся на всех метеорологических станциях, а за продолжительностью солнечного сияния – лишь на некоторых. По данным станции Благовещенка, связь между продолжительностью солнечного сияния и количеством общей облачности достаточно тесная. Коэффициенты корреляции статистически значимы (0,05) и изменяются от 0,60 в январе до 0,86 в июле, для годовых величин коэффициент корреляции равен 0,66. Наиболее тесные связи отмечаются в летний период при максимальной продолжительности светового дня. Таким образом, на территории Алтайского края по данным об общей облачности можно достаточно надежно оценивать продолжительность солнечного сияния.

Для предпроектных и проектных разработок гелиоустановок и для оценки потенциальных гелиоресурсов

достаточно учитывать относительно небольшой комплекс климатических характеристик [5]:

- 1) годовые суммы суммарной радиации;
- 2) соотношение прямой и рассеянной радиации в общей сумме суммарной радиации;
- 3) продолжительность периода с энергетической освещенностью горизонтальной поверхности 0,60 кВт/м² и более (технически приемлемая суммарная радиация);
- 4) продолжительность солнечного сияния;
- 5) отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной;
- 6) число дней без солнца;
- 7) повторяемость ясного и пасмурного неба;
- 8) средние квадратические отклонения суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния.

Кадастр гелиоэнергетических ресурсов для ст. Благовещенка приведен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Гелиоэнергетический кадастр. Алтайский край. Благовещенка

Показатель	Месяц					
	I	II	III	IV	V	VI
$Q_{\text{ясно}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	1,6	2,8	4,6	6,3	7,8	8,7
$Q_{\text{обл}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	32,7	59,8	113,6	144,9	184,8	201,7
$S/Q_{\text{обл}}, \%$	33,1	42,1	49,3	54,5	59,8	63,5
$SS, \text{ч}$	89	132	198	232	296	315
$\sigma_{SS}, \text{ч}$	22	37	34	33	45	24
$SS/SS_{\text{возм}}, \%$	35	48	54	56	61	62
$P, \text{дни}$	9	5	4	2	1	0,2
$U, \text{баллы}$	5,7	5,4	5,7	5,7	5,6	5,6
$W, \%$	38	40	37	34	32	29
$Y, \%$	53	50	54	51	47	44

Показатель	Месяц						Год
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$Q_{\text{ясно}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	8,1	6,8	4,9	3,2	1,7	1,4	–
$Q_{\text{обл}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$	197,2	158,7	113,6	59,6	34,1	25,5	1325,5
$S/Q_{\text{обл}}, \%$	63,5	58,1	60,2	42,8	37,4	34,8	56,0
$SS, \text{ч}$	331	271	224	128	86	83	2385
$\sigma_{SS}, \text{ч}$	39	34	34	36	18	29	169
$SS/SS_{\text{возм}}, \%$	65	59	59	38	33	35	56
$P, \text{дни}$	0,2	0,2	1	6	9	10	48
$U, \text{баллы}$	5,4	5,5	5,3	6,9	6,9	6,3	5,8
$W, \%$	31	34	36	25	27	32	–
$Y, \%$	42	43	45	62	64	59	–

Примечание. $Q_{\text{ясно}}$ – средние за сутки суммы суммарной радиации при ясном небе, кВт·ч/м²; $Q_{\text{обл}}$ – средние за месяц суммы суммарной радиации при средних условиях облачности, кВт·ч/м²; $S/Q_{\text{обл}}$ – отношение прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность к суммарной радиации, %; SS – продолжительность солнечного сияния, ч; σ_{SS} – среднее квадратическое отклонение числа часов солнечного сияния, ч; $SS/SS_{\text{возм}}$ – отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной, %; P – число дней без солнца; U – среднее месячное и годовое количество общей облачности, баллы; W – повторяемость ясного (0–2 б) состояния неба по общей облачности, %; Y – повторяемость пасмурного (8–10 б) состояния неба по общей облачности, %.

Распределение потенциальных гелиоэнергетических ресурсов в пределах Алтайского края носит в целом зональный характер. Это связано с радиационными и циркуляционными процессами. Наблюдается рост гелиоэнергетических ресурсов с северо-востока на юго-запад. На территории Алтайского края можно выделить три зоны с различными потенциальными гелиоэнергетическими ресурсами.

В первую зону с потенциальным гелиоэнергетическим ресурсом более 1 300 кВт·ч/м² входят западная и юго-западная части исследуемой территории. Во вторую зону с потенциальным гелиоэнергетическим ресурсом, равным 1 200–1 300 кВт·ч/м², входит большая часть Алтайского края: северо-западная, северная, центральная, южная и юго-восточная части. В третьей зоне

с потенциальным гелиоэнергетическим ресурсом 1 100–1 200 кВт·ч/м² находится северо-восточная часть рассматриваемой территории. Во всех трех зонах могут постоянно эксплуатироваться гелиоэнергетические системы среднего и малого размеров. Эффективная работа солнечных батарей или гелиоустановок другого типа продолжается с апреля по сентябрь.

Все показатели потенциальных гелиоэнергетических ресурсов получены при условии горизонтально расположенной приемной поверхности солнечной батареи.

Для увеличения коэффициента полезного действия гелиоустановок целесообразно их приемные поверхности постоянно ориентировать перпендикулярно солнечным лучам с помощью гелиостатов. Применение

таких устройств позволяет получать солнечной энергии на 30–35% больше, чем ее поступает на горизонтальную поверхность, и максимально использовать поступающую солнечную энергию. Использование гелиостатов существенно повышает себестоимость получаемой энергии. Установка приемных поверхностей гелиоустановок на юг под углом 45–50° повышает эффективность их использования в полуденные часы на 15–20% по сравнению с горизонтальным расположением приемной поверхности [22].

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Исследуемая территория далеко не вся пригодна для эффективного развития ветроэнергетики, как следует из проведенного анализа ветрового режима и удельной мощности ветрового потока на территории Алтайского края. Наиболее благоприятный район – юго-западная и северо-западная части территории. Здесь можно использовать ВЭУ малой и средней мощности. Однако при увеличении высоты расположения приемной части ВЭУ можно ожидать и

увеличение ветроэнергетического потенциала Алтайского края. Для этого следует провести дополнительные исследования ветрового режима в разных районах и на различных высотах.

Ранжирование районов Алтайского края по приоритету потенциала солнечной радиации (по обеспеченности гелиоресурсами) показало целесообразность использования солнечной радиации как дополнительного источника энергии для населения. Для уточнения режима работы гелиоустановок в процессе эксплуатации перечень показателей должен быть значительно расширен. Для детализированной оценки потенциальных гелиоэнергетических ресурсов необходимы дополнительные исследования для уточнения микроклиматических особенностей продолжительности солнечного сияния, выявления очагов формирования локальной облачности.

Наиболее перспективно использование автономных солнечно-ветровых энергоустановок с использованием накопителей, осуществляющих аккумуляцию энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Удалов Н.С. Возобновляемые источники энергии. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. 412 с.
2. Попель О.С., Фрид С.Е. Об использовании солнечных водонагревателей в погодных критериях средней полосы РФ. URL: http://ftt-plastic.ru/isolarticles/1105_r8.php (дата обращения: 07.05.2012).
3. Ализар А. Германия поставила рекорд по солнечной энергии. URL: <http://habrahabr.ru/post/144636> (дата обращения: 07.06.2012).
4. Энергетическая стратегия России до 2030 года. М. : Минэнерго РФ, 2009.
5. Рекомендации по определению климатических характеристик гелиоэнергетических ресурсов на территории СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 30 с.
6. Климатологический справочник СССР. История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов. Красноярск, 1964. Вып. 20. 342 с.
7. Справочник по климату СССР : в 34 вып., 5 ч. Л. : Гидрометеиздат, 1969. Вып. 20, ч. 3 : Ветер. 576 с.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. Вып. 20, ч. 1–6. 817 с.
9. Архив погоды. URL: <http://www.gr5.ru> (дата обращения: 15.06.2012).
10. Перспективы возобновляемой энергетики Кемеровской области / В.В. Севастьянов, Л.М. Севастьянова, А.В. Мезенцев и др. Кемерово : АРФ, 2008. 236 с.
11. Алтайский край : атлас. Москва ; Барнаул : ГУГиК, 1978. Т. 1. 222 с.
12. Де Рензо Л. Ветроэнергетика. М. : Энергоатомиздат, 1982. 271 с.
13. Энергоактивные здания / под ред. Э.В. Сарнацкого, Н.П. Селиванова. М. : Стройиздат, 1988. 376 с.
14. Багаев А.И. Управляемые коллекторы как средство повышения эффективности использования солнечной энергии // Горы и человек: в поисках путей устойчивого развития : тез. докл. науч.-практ. конф. Барнаул, 1996. С. 252–253.
15. Справочник по климату СССР : в 34 вып., 5 ч. Л. : Гидрометеиздат, 1966. Вып. 20, ч. 1 : Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. 75 с.
16. Вейнберг Б.П. Гелиоэнергетические ресурсы СССР // Атлас энергетических ресурсов СССР. М. ; Л. : Объединен. науч.-техн. изд-во, 1935. Т. 1, ч. III : Гидроэнергетические, ветроэнергетические, гелиоэнергетические ресурсы. 127 с.
17. Севастьянов В.В. Эколого-климатические ресурсы Алтае-Саянской горной страны. Томск, 2008. 307 с.
18. Кадастр возможностей / под ред. Б.В. Лукутина. Томск : Изд-во НТЛ, 2002. 280 с.
19. Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 335 с.
20. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л. : Гидрометеиздат, 1968. 323 с.
21. Украинцев В.Н. Вычисление месячных сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность для широт субтропической зоны // Материалы по агроклиматическому районированию субтропиков СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1938. Вып. 2. С. 5–12.
22. Бакин Н.Н., Ковалевский В.К., Плотников А.П. и др. Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натурных условиях г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 1998. № 12. С. 1337–1340.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 3 октября 2012 г.