

УДК 621.383; 621.472(575.4)

НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ТУРКМЕНИСТАНА

Пенджиёв А.М.

*Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Ашхабад,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

В статье рассматривается научный обзор геоинформационные системы (ГИС) и создание геоинформационных технологий (ГИТ), которые позволяют оперативно и подробно анализировать на основе имеющейся географически привязанной информации различные альтернативные варианты для проведения оценки последствий вариантов проектирования установок, в той или иной области солнечной энергетики с целью обеспечения устойчивого развития региона. В основном это относится к энергетическим объектам и системам, использующие солнечные энергетические источники, с их высокой пространственной и временной неравномерностью и изменчивостью. В соответствии со стоящими задачами, определяющими необходимые расчетные параметры, и встают требования к исходной физико-географической, природно-климатической, метеорологической, солнечные энергетические ресурсы и информации энерго-экопотенциала, необходимой для создания базы данных ГИС. Оценки солнечных энергоресурсов и его распределения по территории затруднено ограниченностью объема энергопотенциала по времени и в пространстве. С помощью ГИС можно решить энергетические, экономические, экологические, социальные вопросы и возможности смягчения изменения климата на основе солнечных энергетических установок, и их ресурсы, экологические выгоды, цели и задачи на научно-методических основах в области солнечной энергетики для реализации государственных программ Туркменистана энергообеспечения региона. На основе ГИС технологий составлена база данных, выведены эмпирические формулы солнечных энергетических ресурсов и экологических потенциалов по областям Туркменистана.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, геоинформационные системы, технологический, валовый, технический, экономический, экологический потенциал, экоэнергетика, экология, экобизнес, Туркменистан.

THE SCIENTIFIC REVIEW: GEOINFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPMENT OF SOLAR POWER OF TURKMENISTAN

Penjiyev A.M.

*Turkmen State Institute of Architecture and Construction, Ashabad,
e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

In article the scientific review geoinformation systems (GIS) and creation geoinformation technologies (GIT) which allow operatively and to analyze in detail on the basis of the available geographically adhered information various alternative variants for carrying out of an estimation of consequences of variants of designing of installations, in this or that area of solar power c the purposes of maintenance of a sustainable development of region is considered. Basically it concerns power objects and the systems, using solar power sources, with their high spatial both time non-uniformity and variability. According to the standing problems defining necessary settlement parameters, also there are requirements to initial fiziko-geographical, prirodno-climatic, metrological, solar power resources and information energo-ekopotentsiala, database GIS necessary for creation. Estimations of solar power resources and its distribution on territory it is complicated by limitation of volume energy potential on time and in space. By means of GIS it is possible to solve power, economic, ecological, social questions and possibilities of softening of change of a climate on the basis of solar power installations, and their resources, ecological benefits, the purposes and problems on scientifically-methodical bases in the field of solar power for realisation of government programs of Turkmenistan of power supply of region. On the basis of GIS technologies the database is made, empirical formulas of solar power resources and ecological potentials on areas of Turkmenistan are deduced.

Keywords: renewable energy, solar energy, geo-information systems, technology, gross, technical, economic, ecological potential, ekoenergetika, ecology, ekobiznes, Turkmenistan.

1. Введение

Актуальность проблемы. В своем обращении Президента Туркменистана Гурбангулы Бердмухамедова к участникам Международной научной конференции «Инновационные технологии в использовании возобновляемых источников энергии» в декабре 2014 года сказал: «Туркменистан – государство, обладающее огромными запасами наземных и подземных богатств, углеводородных и горно-минеральных ресурсов, богатое на солнечную энергию и пустынный песок, имеющий в своем составе

кремний. Наша главная задача – рациональное использование этих богатств, сохранение их для будущих поколений, производство из песка Каракумов и экспорт на мировые рынки кремния, являющегося базовым химическим элементом для создания оборудования, позволяющего получать экологически чистую электроэнергию.

Внедрение в производство возобновляемых источников энергии даст возможность находить научные решения, связанные с главными вопросами современной жизни человечества, – изменением климата на

Земном шаре, благоприятной экологией, обеспечением энергетической безопасности в мире. Мы относимся к этим вопросам, как к приоритетным направлениям внутренней и внешней политики нашей страны. В настоящее время наша страна в качестве крупной энергетической державы направляет свои природные богатства, энергетические ресурсы и экономический потенциал на обеспечение национального, регионального и мирового развития, поддержку и укрепление мира и безопасности на Земле.

Высокие темпы развития мировой экономики в XXI веке неразрывно связаны с потреблением энергоресурсов, достижениями науки, научными идеями и решениями, опирающимися на кардинально новую технику и технологии. Исходя из этого, устойчивое развитие экономики нашей страны связано с экспортом энергоресурсов на мировые рынки, широким внедрением в нефтегазовую, химическую, энергетическую, промышленную и другие отрасли энерго- и ресурсосберегающих, экологически чистых и безопасных инновационных технологий. В качестве одного из важных приоритетных направлений государственной политики мы уделяем особое внимание разработке и реализации научно-технических и инновационных программ, направленных на эффективное использование таких возобновляемых источников энергии, как солнце, ветер, вода, биогаз» [Газета «Нейтральный Туркменистан» 3.12.2014 г.].

Исходя из поставленных приоритетных задач одной из основ, это создание информационной базы, обеспечивающей становление и развитие такой инновационной отрасли, как возобновляемая энергетика, являются геоинформационная система о возобновляемых источниках энергии. Во многих развитых странах, уделяющих большое внимание развитию возобновляемой энергетике, проведены подобные работы, но в Туркменистане пока этот вопрос не рассматривался, и поэтому автором сделаны первые шаги в этом направлении.

Исходя из этого, в некоторых странах, признанные в мировом лидере применения технологий использования ВИЭ, темпы их развития многократно увеличились после использования ГИС возобновляемых источников энергии в системе энергоснабжения.

Из выше сказанного автор подготовил статью, конечно, он осознает, что при написании статьи не все задуманное удалось ре-

ализовать в полном объеме. Он прекрасно понимает, что он делает первые шаги в этом направлении, поэтому имеется недостаток как в теоретическом плане, так в практической и прикладной части. Но тем не менее вопрос использования ГИС технологий в области применения солнечной энергетике для смягчений антропогенных нагрузок на окружающую среду с помощью возобновляемых источников энергии стоит, а на вопрос изменение климата уже нужно принимать меры сейчас. Используемые материалы и методика подхода могут быть полезны для применения их не только в Туркменистане, но и в других странах мира.

Цель статьи. На основе научного обзора разработать с использованием информационных технологий рассчитать и с помощью геоинформационного моделирования решить задачи, оценки пространственного распределения возобновляемых энергоресурсов Туркменистана и определения пространственного распределения солнечных энергетических ресурсов на территории страны.

Предметом исследования являются теоретические расчеты, методологические основы, разработки и применения геоинформационных технологий для построения и составления пространственного распределения солнечных энергоресурсов, а также определения экологического потенциала от использования солнечных установок на территориях Туркменистана.

Научная новизна. Предложены принципы построения новой ГИС технологии для решения задач комплексной оценки возобновляемых энергоресурсов в частности солнечных энергоресурсов и экологического потенциала на территории Туркменистана. Впервые с применением геоинформационных технологий построены: энергетическая и экологическая расчетная составляющая потенциала солнечных ресурсов и их технические, экономические, экологические доступность для электроснабжения отдаленные районов страны.

2. Геоинформационные системы и технологии

Геоинформационная система (ГИС) – это многофункциональная информационная система, предназначенная для сбора, обработки, моделирования и анализа пространственных данных, их отображения и использования при решении расчетных за-

дач, подготовке и принятии решений. Основное назначение ГИС заключается в формировании знаний о Земле, отдельных территориях, географической местности, а также своевременном доведении необходимых и достаточных пространственных данных до пользователей с целью достижения наибольшей эффективности их работы.

Геоинформационные технологии (ГИТ) – это информационные технологии обработки географически организованной информации.

Основной особенностью ГИС, определяющей ее преимущества в сравнении с другими автоматизированными информационными системами (АИС), является наличие геоинформационной основы, т.е. цифровых карт (ЦК), дающих необходимую информацию о земной поверхности. При этом ЦК должны обеспечивать:

- точную привязку, систематизацию, отбор и интеграцию всей поступающей и хранимой информации (единое адресное пространство);
- комплексность и наглядность информации для принятия решений;
- возможность динамического моделирования процессов и явлений;
- возможность автоматизированного решения задач, связанных с анализом особенностей территории;
- возможность оперативного анализа ситуации в экстренных случаях.

Сущность ГИТ проявляется в ее способности связывать с картографическими (графическими) объектами некоторую описательную (атрибутивную) информацию (в первую очередь алфавитно-цифровую и иную расчетно-графическую, звуковую и видеоинформацию). Как правило, алфавитно-цифровая информация организуется в виде таблиц реляционной базы данных (БД). В простейшем случае каждому графическому объекту (точечному, линейному или площадному) ставится в соответствие строка таблицы – запись в БД. Использование такой связи и обеспечивает богатые функциональные возможности ГИТ. Эти возможности, естественно, различаются у разных систем, но есть базовый набор функций, обычно имеющийся в любой реализации ГИТ, например, возможность ответа на вопросы «что это?» указанием объекта на карте и «где это находится?» выделением на карте объектов, отобранных по некоторому условию в БД. К базовым можно также от-

нести ответ на вопрос «что рядом?» и его различные модификации. Исторически первое и наиболее универсальное использование ГИТ – это информационно-поисковые, справочные системы, определения возобновляемых энергетических данных и так далее.

Таким образом, ГИТ можно рассматривать как некое расширение технологии БД для координатной привязанной информации. Но даже в этом смысле она представляет собой новый способ интеграции и структурирования информации. Это обусловлено тем, что в реальном мире большая часть информации относится к объектам, для которых важную роль играет их пространственное положение, форма и взаиморасположение. Следовательно, ГИТ во многих приложениях значительно расширяют возможности обычных энергетических установок или станции на основе ВИЭ.

В настоящий момент за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики. Энергетические компании широко используют геоинформационные системы для разработки проектов. В частности, недавно осуществленный выбор подходящего участка для размещения комплекса ВЭС на континентальном шельфе Нидерландов был проведен с использованием локальной ГИС. Она позволила интегрировать и в комплексе проанализировать многие лимитирующие факторы проекта, такие как пути и интенсивность судоходства, территории разработки нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и т.д. При оценках учитывалось влияние каждого из этих факторов, что обеспечило детальный анализ пригодности и экологической чувствительности того или иного участка в процессе выбора мест для строительства энергетических объектов.

Рассмотренные в ходе исследования научный обзор зарубежных авторов по геоинформационным ресурсам по ВЭ можно подразделить по охвату территории на: локальные; региональные; национальные; глобальные выгоды.

По направленности ГИС можно выделить однокомпонентные ГИС (рассматривается только один из ВИЭ: солнце, или ветер, или биомасса и т.п.) и многокомпонентные или комбинированные (включающие в себя несколько ВИЭ).

По типу информации, включаемой в основу ГИС ВИЭ, и используемой для оценки целесообразности и выгодности проектов по солнечной энергетике можно выделить:

- Данные для оценки солнечных энергетических ресурсов (комплекс метеорологических и актинометрических данных, описание энергетических данных о физических и химических характеристиках установки, предназначение установки, данные по социальной и экологической жизнедеятельности человека, населению и прочие др.);

- Технические характеристики потенциала солнечной установки (для расчетов предполагаемой выработки электрической и тепловой энергии);

- Экономические потенциал (предпосылки цены на энергию от традиционных и нетрадиционных источников с целью сравнения их выгоды, экономия органического топлива);

- Энергетические балансы региона (предприятия, производящие энергоустановки на основе солнечной энергии, инвестиции в данную область, налоговые льготы на использование солнечную станцию или установку, зарплаты работников объектов и т.д.);

- Социальные предпосылки (занятость населения и потенциальные рабочие места от строительства объектов на солнечной энергетической станции, соотношение новых рабочих мест и прогнозируемого объема вырабатываемой энергии, решение социально-бытовых условий, уменьшение негативных факторов, влияющих на здоровье населения за счет снижения вредных выбросов и т.д.);

- Экологические аспекты: величина снижения вредных выбросов при использовании солнечной энергетической станции, снижение загрязнения на окружающую среду, создание экобизнеса для механизма чистого развития (МЧР) (в районах, где использовались различные энергетические и тепловые станции и т.д.) [7-10,12].

В статье основываясь на вышеизложенное, поэтому сделан упор на использования ГИС технологий в солнечной энергетике Туркменистана.

3. Солнечно-энергетические ресурсы Туркменистана

Особенности солнечной энергии. Наиболее перспективной с точки зрения неисчерпаемости, экологической чистоты и распространенности среди возобновляемых

альтернативных источников энергии является солнечная радиация.

Энергия солнца является не только источником света, жизни, тепла, но и основным фактором развития цивилизации. Солнечная энергетика в наши дни – это уже не несбыточная мечта, находящая свое воплощение лишь в научно- фантастической литературе, а реальность, занимающая все больше места в нашей повседневной жизни, деятельности научных институтов, работе промышленных предприятий.

Каждую секунду солнце излучает $88 \cdot 10^{24}$ кал или $370 \cdot 10^{12}$ ГДж теплоты. Из этого количества теплоты на Землю попадает лишь $1,2 \cdot 10^{12}$ Вт (за год 1018 кВтч), что в 10 000 раз больше всей энергии, потребляемой в мире. Киловатт час – это то количество энергии, которое требуется для работы одной лампочки накаливания мощностью 100 Вт в течение 10 часов. Если энергетический потенциал Солнца рассчитывать по количеству солнечной энергии, падающей только на незанятые человеком территории, то и в этом случае среднегодовая мощность составит около 10 000 ГВт, что превышает более, чем в 5000 раз мощность всех существующих на сегодняшний день стационарных электростанций. Лишь одна миллионная часть энергии, излучаемой Солнцем, перехватывается внешними слоями земной атмосферы. Но только 47% этой энергии достигает поверхности Земли, расходуясь на отражение, рассеивание и поглощение различными атмосферными газами и аэрозолями.

Количество энергии, падающей на единицу площади поверхности в единицу времени определяется рядом факторов: широтой местности, климатическими условиями, сезонностью, углом наклона поверхности по отношению к Солнцу, характером местности (наличием загромождающих солнце деталей рельефа, деревьев и т. д.).

Количество солнечной радиации, падающей на поверхность Земли, не отличается равномерностью, вследствие движения Солнца, и неодинаково как в разное время суток, так и в разное время года. Так, например, в полдень, Солнце находится высоко над горизонтом, что приводит к уменьшению пути прохождения солнечного излучения через земную атмосферу (оно движется по прямой) и, соответственно, меньшему поглощению и рассеиванию. Следовательно, в полдень большее количество солнеч-

ного излучения достигает поверхности Земли, чем, если бы это было утром или вечером. А это значит, что эффективность солнечных лучей в течение дня неодинакова и, следовательно, различается и производительность фотоэлектрических систем в разное время суток. Лучи, падающие на солнечные элементы под малым углом, мало пригодны для выработки электроэнергии.

Количество солнечной энергии, падающей на Землю, отличается от среднегодовых значений и по временам года. Так, на севере Европы оно меньше среднегодового значения зимой на $0,8 \text{ кВтч/м}^2$ в день и больше на 4 кВтч/м^2 летом. Меньшей инсоляцией объясняется малая долгота дня и меньшая освещенность зимой. По мере приближения к экватору эти различия сглаживаются.

Количество солнечной энергии зависит и от географической широты местности и оно тем больше, чем местность ближе к экватору. В пустынях Африки, Ближнего Востока и Австралии среднегодовое суммарное солнечное излучение, падающее на горизонтальную поверхность, составляет приблизительно 2200 кВт ч/м^2 , а в Средней Азии, Канаде, Центральной Европе в среднем 1000 кВтч/м^2 .

Поэтому использование энергии солнечного света – это наиболее экологичный и естественный способ получения различных форм столь необходимой нам энергии. Количество солнечной энергии, попадающей на крыши и стены зданий, во многих странах мира значительно превышает потребности в ней жителей этих домов. Остается только использовать эту энергию. Солнечные коллекторы, вырабатывая тепло, способны обеспечить горячей водой и отоплением, а фотоэлектрические установки преобразуют солнечный свет непосредственно в электроэнергию. Солнечные коллекторы и солнечные элементы образуют, так называемые, активные солнечные системы. Напротив, пассивные системы создаются лишь при правильной ориентации зданий по отношению к Солнцу, подбором строительных материалов, позволяющим использовать солнечную энергию максимально эффективно.

Преобразование солнечной энергии в тепло и электричество происходит и косвенным образом при трансформации ее в другие формы энергии: энергию биомассы, приливов, ветра и т. д. Погода на Земле на-

прямую зависит от Солнца. Солнечное излучение, поглощаясь водными массами океанов и морей, нагревает их, вызывая испарение, которое затем в виде осадков выпадает на землю. Неравномерное нагревание воздуха в различных областях земного шара приводит к появлению ветра, вращающего лопасти ветроэлектростанций. Еще один возобновляемый источник энергии – биомасса, также образуется, благодаря энергии Солнца. Органические вещества в растениях, необходимые для производства тепловой и электрической энергии, появляются в результате фотосинтеза. Полезные ископаемые: уголь, нефть и газ – это тоже производные солнечной энергии.

Даже активные солнечные системы, такие, как солнечные коллекторы и фотоэлектрические батареи, необходимо правильно ориентировать по отношению к Солнцу, чтобы получить наибольший эффект от их использования.

Понятно, что любое солнечное оборудование лучше устанавливать на южной стороне здания. Важен и угол наклона. Стационарные солнечные батареи без системы слежения максимальное количество солнечной радиации в течение года получают, при их расположении под углом наклона относительно уровня горизонта, равным географической широте местности, в которой расположено здание. Поэтому при проектировании зданий, предполагающих использование энергии солнца, необходимо учитывать как угол наклона крыши, так и ориентацию на юг, а также расстояние от фотоэлектрических батарей до места потребления, которое должно быть как можно более меньшим, в целях уменьшения энергопотерь.

Как отмечал в своих научных трудах, наибольшая эффективность солнечных батарей достигается при их ориентации по направлению к Солнцу и перпендикулярном расположении световоспринимающей поверхности по отношению к солнечным лучам. Как правило, солнечные батареи, используемые для электроснабжения зданий, размещают либо на крыше (наиболее распространенный вариант), либо на специальных поддерживающих кронштейнах в строго фиксированном положении, не позволяющем поворачиваться вслед за Солнцем. При таком расположении не обеспечивается оптимальный угол наклона (прямой угол), позволяющий использовать солнечное излучение с максимальной эффектив-

ностью. В зимний период солнечные лучи падают на земную поверхность под другим углом, нежели летом. Поэтому, желательно в летний период располагать солнечные панели в более горизонтальном положении, чем зимой. Зимой же угол наклона должен быть, соответственно, большим. Если же отсутствует возможность дважды в течение года менять угол наклона батарей, то выбирается некое оптимальное значение угла наклона, приемлемое для любого времени года (посередине между оптимальными летним и зимним углами наклона). Лишь при расположении в экваториальной местности панели должны располагаться строго горизонтально. Для весны и осени оптимальный угол наклона обычно выбирается равным географической широте местности. Для зимнего периода это значение увеличивают на 10-15 градусов, а для лета, наоборот, уменьшают на ту же величину. При небольших (до 5 градусов) отклонениях от оптимального значения угла наклона эффективность солнечных электросистем меняется незначительно. Гораздо большее влияние на вырабатываемую мощность оказывают погодные условия.

При проектировании автономных систем следует учитывать месячный график нагрузки, т. е. оптимальный угол наклона следует подбирать конкретно для определенного месяца. Вообще, следует подходить индивидуально к условиям конкретного заказчика. Так, например, при наличии затенения с восточной стороны, целесообразнее будет поменять ориентацию солнечных батарей с южного направления на юго-западное.

При установке устройства слежения за Солнцем (трекера), можно получить значительную прибавку к производимой мощности. Слежение по азимуту прибавит 20%, а дополнительное слежение по высоте – еще 10% к генерируемой мощности электроэнергии. Солнечные батареи при этом монтируются на подвижной платформе, поворачивающейся вслед за Солнцем. Обычно установка систем автоматического слежения для автономных систем оказывается нецелесообразной, поскольку требует значительных затрат, как на монтаж, так и на последующее техобслуживание.

Территория Туркменистана имеет благоприятные климатические условия для использования солнечной энергии. Технический потенциал низкопотенциальной энер-

гии Солнца на территории Туркменистана, выраженный в тоннах условного топлива эквивалентен $1,4 \cdot 10^9$ т.у. в год или примерно $4 \cdot 10^{15}$ кДж. Продолжительность солнечного излучения составляет в среднем 2000-3000 часов в год. Количество солнечной энергии в самом солнечном месяце года – июле, приходится на 1 кв. метр горизонтальной поверхности, находится в диапазоне от 6,4 до 7,5 кВтч в день. Использование солнечной энергии в данных районах может иметь важное хозяйственное значение.

При анализе для создания базы данных, расчетов и использования ГИС технологий, исходили из выше приведенных особенностей солнечной энергии.

Солнечная радиация и солнечное сияние. Данные по солнечной радиации и радиационному балансу приводятся на основе материалов актинометрических наблюдений метеорологических станций.

В комплекс актинометрических наблюдений входят измерения прямой и рассеянной радиации, приходящей к земной (деятельной) поверхности, отраженной радиации от земной поверхности и радиационного баланса земной поверхности. Деятельной поверхностью называют поверхность почвы, воды или растительности, непосредственно поглощающую солнечную и атмосферную радиацию и отдающую излучение в атмосферу [11,-13,18-21,23-25,35-37,48].

Солнечная радиация, поступающая на деятельную поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от диска солнца, называется *прямой солнечной радиацией*. На актинометрических станциях измеряется прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность, S .

Количество солнечной радиации, приходящее на горизонтальную поверхность, S' , зависит от высоты солнца над горизонтом и может быть получено из соотношения

$$S' = S \sin h_0, \quad (1)$$

где h_0 – высота солнца над горизонтом.

Проходя через атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается молекулами газов воздуха, твердыми и жидкими частичками, взвешенными в воздухе, облаками. Часть солнечной радиации, поступающей на земную поверхность со всех точек небесного свода после рассеяния в атмосфере, называется *рассеянной радиацией D*. На актинометрических станциях измеряется рас-

сеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Прямая солнечная радиация и рассеянная радиация относятся к коротковолновой части спектра (с длинами волн от 0,17 до 4 мк, фактически земной поверхности достигают лучи с длиной волны от 0,29 мк).

Общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность, состоящий из прямой и рассеянной радиации, называется *суммарной радиацией* Q

$$Q = S' + D. \quad (2)$$

На земной поверхности происходит перераспределение поступающей солнечной радиации: часть ее отражается от земной поверхности в атмосферу – *отраженная коротковолновая радиация* R , остальная часть поглощается земной поверхностью – *поглощенная коротковолновая радиация* B_k .

$$B_k = Q - R. \quad (3)$$

Количество отраженной радиации зависит от свойств деятельной поверхности (цвета, увлажненности, структуры и т. п.).

Величина, характеризующая отражательную способность поверхности, или *альбедо поверхности* A , определяется отношением отраженной от поверхности радиации к поступающей на данную поверхность суммарной радиации и обычно выражается в процентах

$$A = R / Q \times 100 \quad (4).$$

Наряду с коротковолновой радиацией к земной поверхности поступает длинноволновое излучение атмосферы (встречное излучение) E_a , в свою очередь земная поверхность излучает длинноволновую радиацию соответственно своей температуре (собственное излучение) E_3 (99% излучения земли и атмосферы имеют длины волн от 4 до 40 ж/с).

Разность собственного излучения земной поверхности и атмосферы называется *эффективным излучением* $E_{эф}$. Встречное излучение обычно меньше собственного и поэтому поток эффективного излучения направлен вверх (от земной поверхности).

В каждый момент времени на земной поверхности осуществляется приход расход лучистой энергии. Алгебраическая сумма приходных и расходных составляющих радиации называется *радиационным балансом* B , уравнение которого записывается в виде:

$$B = S' + D + E_a - R - E_3 \quad (5)$$

или

$$B = Q - R - E_{эф}, \quad (6).$$

В зависимости от соотношения приходо-расходных составляющих знак радиационного баланса бывает положительный (если поверхность земли поглощает больше радиации, чем отдает, поток направлен к земле) и отрицательным (если поверхность земли поглощает радиации меньше, чем отдает, поток направлен от земли).

Превышение притока радиации над отдачей, или наоборот, уравнивается потоком тепла через деятельную поверхность, из деятельного слоя в атмосферу или обратно, путем теплопроводности, а также при испарении и конденсации водяного пара [13-19, 23-25, 35-37, 74, 82, 94, 97, 98].

Радиационный баланс деятельной поверхности является ведущим компонентом теплового баланса, он определяет величину и знак потоков тепла в воздух и почву, точный ход испарения и конденсации.

Величина радиационного баланса может быть определена либо как сумма составляющих, каждая из которых измерена отдельно, либо непосредственно измерена прибором, как это принято при актинометрических наблюдениях.

В метеорологии принято выражать лучистую энергию в тепловых единицах на единицу площади за единицу времени: интенсивность радиации в радиации в $кал/см^2/мин$, суммы радиации в $кал/см^2$ за час, сутки, месяц или год.

Измерения солнечной радиации на станциях производятся шесть раз в сутки в сроки: 0 ч. 30 м., 6 ч. 30 м., 9 ч. 30 м., 12 ч. 30 м., 15 ч. 30 м., 18 ч. 30 м. по среднему солнечному времени. Кроме того, на ряде станций производится непрерывная регистрация самопишущими приборами суточного хода радиации.

Для измерения солнечной радиации используются приборы, приемной частью которых являются термоэлементы. При облучении приемной поверхности прибора солнечной радиацией в термоэлементах возникает электрический ток, который фиксируется гальванометром при срочных наблюдениях или гальванографом при регистрации радиации.

Прямая радиация измеряется термоэлектрическим актинометром (АТ-50), рассеянная, отраженная и суммарная радиации

– термоэлектрическим пиранометром (П 3Х3), радиационный баланс – термоэлектрическим балансомером (М-10). Описание приборов, методика наблюдений и обработки изложены в Руководствах [13,36,98,108,117].

Применяемые для измерения радиации приборы, поверяются непосредственно или через вторичные эталоны с Всесоюзным эталоном (пиргелиомерами № 212 и № 250), хранящимся в ГГО. Все публикуемые в Справочнике данные приведены к Международной пиргелиометрической шкале 1956 г.

В данном разделе описываются значения интенсивности в сроки наблюдений, месячные и годовые суммы коротковолновой радиации и радиационного баланса, а при наличии самописцев и часовые суммы².

Для таблиц Справочника использованы материалы станций, период наблюдений которых составлял не менее 4–5 лет. В малоосвещенных актинометрическими наблюдениями районах при описании радиационного режима использовались наблюдения станций с более короткими рядами.

Использованы справочные данные получены непосредственным подсчетом за имеющийся период актинометрических наблюдений. В таблицах приведены ряд станций коротковолновая радиация приведена к периоду большей длительности косвенным методом по графикам связи сумм радиации с продолжительностью солнечного сияния, радиационный баланс приведен к периоду большей длительности по графикам связи с поглощенной радиацией для Юго-Восточного Туркменистана. Связь между указанными элементами можно считать с достаточной степенью точности линейной. Приведение считалось целесообразным при коэффициенте корреляции более 0,50.

Месячные суммы радиации, приведенные к длительному периоду, в большей степени характеризуют многолетний режим по сравнению со средними из коротких рядов. Последнее очень важно при учете закономерностей изменения климата и дает возможность сопоставлять элементы радиационного режима с другими метеорологическими характеристиками, и в первую очередь с продолжительностью солнечного сияния.

При использовании характеристик, полученных из небольших рядов без приведения (5–7 лет). Следует учитывать, что они могут отличаться от средних многолетних (при периоде осреднения 30 лет и более)

для месячных сумм суммарной радиации – на 10–13%, для прямой солнечной радиации – на 20% (иногда и более).

Публикуемые величины по приходящей солнечной радиации (прямой, рассеянной и суммарной) практически могут быть распространены на близлежащие окрестности в радиусе 50–100 км примерно. При тех же условиях прозрачности атмосферы и на любые горизонтальные поверхности, находящиеся в данном пункте в первом полукилометровом слое атмосферы. С высотой прямая и суммарная радиации увеличиваются.

В зависимости от микроклиматических особенностей местности данные по поглощенной, отраженной радиации и радиационному балансу деятельной поверхности могут существенно изменяться даже в одном и том же пункте.

Естественные поверхности обладают различной отражательной способностью. Так, темные поверхности имеют низкие значения альбедо – около 15% (черные пески, болотно-луговые почвы). Светлые поверхности обладают большим альбедо – 35–40% (белый песок). Альбедо поверхностей с травяным покровом колеблется в пределах 15–25%. Альбедо крон лиственного леса летом 14–17%. Альбедо водных поверхностей заключается в пределах от 3 до 45% в зависимости от высоты солнца и степени волнения. Наибольшей отражательной способностью обладает свежеснежный снег, его альбедо равно 85–90%.

В прямой зависимости от альбедо находится отраженная и поглощенная радиация, последняя в значительной мере определяет величину радиационного баланса. Приводимые в Справочнике значения альбедо относятся к деятельной поверхности (естественной) метеорологической площадки, на которой производятся наблюдения. Это следует учитывать при использовании характеристик, измеренных на метеорологической площадке, и при распространении их на другие поверхности [13-18,35-37].

Территория Туркменистана имеет разнообразные поверхности, как в равнинных, так и в высокогорных районах. Альбедо наиболее распространенных поверхностей приводится в таблице 15.

Солнечная радиация, поступающая на наклонные и вертикальные поверхности. По данным прямой солнечной радиации, публикуемым в Справочнике, можно рассчитать величину радиации, поступающую

на вертикальные (стены) и наклонные (склоны) поверхности любой ориентации, используя формулы:

$$S_B = S \cos h_0 \cos (A_0 - A); \quad (7)$$

$$S_{СКЛ} = S_B \sin a + S' \cos a, \quad (8),$$

где S_B – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, $S_{СКЛ}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на наклонную поверхность ($S_{СКЛ}$ и S_B имеют одинаковый азимут), S – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к лучам поверхность, S' – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, h_0 – высота солнца, A_0 – азимут солнца, A – азимут нормали к вертикальной поверхности, a – крутизна склона (угол, который наклонная поверхность составляет с горизонтальной плоскостью) [13-19,35-37].

Для того чтобы получить радиацию, поступающую на стены или склон в $кал/см^2 \cdot мин$, в формулы (7) и (8) нужно подставить значения прямой радиации из табл. 2 и высоту солнца из таблицы 1 (азимут солнца рассчитывается по известным формулам или берется из соответствующих таблиц).

Для оценки месячной (или средней суточной) суммы прямой радиации, поступающей на стену южной ориентации, можно использовать следующие значения коэффициента k , выражающего отношение суммы радиации на южную стену к сумме радиации на горизонтальную поверхность (табл. 1).

Освещенность горизонтальной поверхности. По величинам суммарной и рассеянной радиации при ясном небе, помещенным в Справочнике, можно получить освещенность, используя световой эквивалент, определенный Е.А. Поляковой и О.Д. Бартеневой (ГГО).

Световой эквивалент суммарной радиации для ясного неба приведен в табл. 2. Световой эквивалент рассеянной радиации при ясном небе равняется 80 ± 12 как на $1 кал/см^2 \cdot мин$.

Международная система единиц. Для перехода от употребляемых в настоящем разделе единиц интенсивности – $кал/см^2 \cdot мин$ – и сумм радиации за час, сутки, месяц – $кал/см^2$ и $ккал/см^2$ – к единицам Международной системы – $ватт/м^2$ ($Вт/м^2$) и $джоуль/м^2$ ($дж/м^2$), следует использовать соотношения: $1 кал/см^2 \cdot мин = 698 Вт/м^2 = 0,698 кВт/м^2$; $1 кал/см^2 = 4,19 \cdot 10^4 дж/м^2 = 41,9 кдж/м^2$; $1 ккал/см^2 = 4,19 \cdot 10^7 дж/м^2 = 41,9 Мдж/м^2$.

Характеристика радиационного режима. Солнечная радиация является главным источником тепловой энергии почти для всех природных процессов, развивающихся в атмосфере, гидросфере и в верхних слоях литосферы. Наряду с этим использование солнечной радиации имеет исключительное значение в хозяйственной деятельности человека.

Характеристика радиационного режима в кратком изложении имеет целью дать общее представление о закономерностях пространственного и временного распределения солнечной радиации и радиационного баланса.

Таблица 1

Коэффициенты k

Широта (град.)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
48	3.20	2.00	1.20	0.68	0.40	0.30	0.35	0,54	0.93	1.60	2.60	3.60
44	2.50	1.70	1.03	0.60	0.33	0.24	0.28	0.47	0.80	1.45	2.20	2.80
40	2.15	1.50	0.92	0.51	0.28	0.19	0.23	0.3Э	0.71	1.20	1.85	2.40
37	1.97	1.37	0.85	0.45	0.24	0.16	0.19	0.34	0.65	1.14	1.71	2.13

Таблица 2

Световой эквивалент суммарной радиации для ясного неба (в килолюксах на $1 кал/см^2 \cdot мин$),

Высота солнца (град.)							
10	20	30	40	50	60	70	75
62 ± 5	66 ± 5	68 ± 4	70 ± 3	71 ± 3	71 ± 3	72 ± 2	72 ± 2

Общей площадью Туркменистана составляет 491,2 тыс. км². Туркменистан расположена в зоне пустынь умеренного пояса. По рельефу она может быть разделена на горную и равнинную части. Равнинная часть делится на низменные равнины и возвышенные равнины. Низменные равнины занимают 80% территории страны. Сюда входят Центральные, или Низменные, Каракумы, Сарыкамышская котловина и Прикаспийская низменность, расположенные ниже уровня моря. К возвышенным равнинам относятся Красноводское плато, на западе страны южные оконечности плато Устюрт, на севере – Заунгузское плато, или Заунгузские Каракумы.

Горная система Копет-Даг занимает незначительную часть территории страны и имеет высоту до 3000 м только в пограничной зоне; в средней и северной частях высота гор не превышает соответственно 2000 и 1000 м. Для Центральных Каракумов характерны грядово-бугристые пески, переходящие в широкую область такыров у предгорий Копет-Дага.

Заунгузские Каракумы – пространства желтых барханных песков на разноцветных песчаниках и глинах. Это наиболее бесплодная часть Каракумов [11,12,13,18-23].

Прикаспийская низменность расположена между западными отрогами Копет-Дага, южной окраиной Туркменбашинского плато и Каспийским морем. Поверхность ее занята обширными такырами, солончаками и песчаными массивами,

Большая часть Туркмении (северная и центральная) лишена постоянных вод. Речная сеть развита слабо, реки принадлежат к бессточным бассейнам.

Подстилающая поверхность на территории Туркмении представлена в основном песчаными массивами, такырами, солончаками. Почвы – сероземы, серобурые пустынные, в долинах рек лугово-сероземные и аллювиально-луговые. В долинах расположены оазисы с культурно-ирригационными почвами.

На большей части территории Туркмении преобладает пустынная растительность. В глинистых пустынях господствуют эфемероиды. На солончаковых почвах распространены различные виды солянок. В долинах крупных рек распространены тугай. В предгорьях распространены эфемероиды, в высоких предгорьях – пырейно-разнотравная степь.

Актинометрическая сеть распределена по республике редко, в среднем каждая станция освещает район площадью 7 тыс. км².

Радиационный режим Заунгузских Каракумов характеризует ст. Ак-Молла. Станция расположена среди грядовых и барханных песков, чередующихся с солончаковой почвой и такырами. Подстилающая поверхность на актинометрической площадке меняется в зависимости от цвета наносного песка. В районе станции имеются кустарники саксаула и пустынная растительность.

Радиационный режим Центральных (Низменных) Каракумов характеризует станция Ясхан, расположенная в древнем русле Узбоя на берегу пресного озера. Ширина русла 2,5–3 км, берега русла песчаные крутые, достигающие высоты 20–25 м. Почва на актинометрической площадке песчаная пустынной растительностью.

Радиационный режим низменности характеризуют станции Кара-Богаз-Гол и Гасан-Кули. Станция Кара-Богаз-Гол расположена на правом берегу залива Кара-Богаз-Гол Каспийского моря. Площадка расположена в 80 м от залива в характерном для окружающего района месте (поверхность площадки – песчаная пустыня). Станция Гасан-Кули расположена в песчаной пустыне на расстоянии 20 км от Каспийского моря. Подстилающая поверхность на обеих станциях песчаная с примесью солончака и ракушечника. Цвет ее меняется в зависимости от соотношения песка и ракушечника, в окрестности станции имеется пустынная растительность. На станциях часто наблюдаются помутнения атмосферы, вызываемые пыльными бурями, мглой, туманами, дымками.

Радиационный режим предгорных районов Копет-Дага характеризуют станции Ашхабад, Кеши и Беки-Бент. Станция Ашхабад, Кеши расположена в слабо волнистой местности на западной окраине города Ашхабада. С севера в 4 км проходит пустыня Каракумы, на юге на расстоянии 2 км расположены холмы северных предгорий Копет-Дага. Почва площадки – серые суглинки со степной растительностью, зеленой весной и выгоревшей летом. Станция Беки-Бент расположена в западных отрогах Копет-Дага, на возвышенном месте. Местность волнистая, местами пересеченная сухими руслами с пологими краями; в период выпадения осадков по ним происходит сток дождевой воды. Почва глинистая с преобладанием песка и редкой степной растительностью.

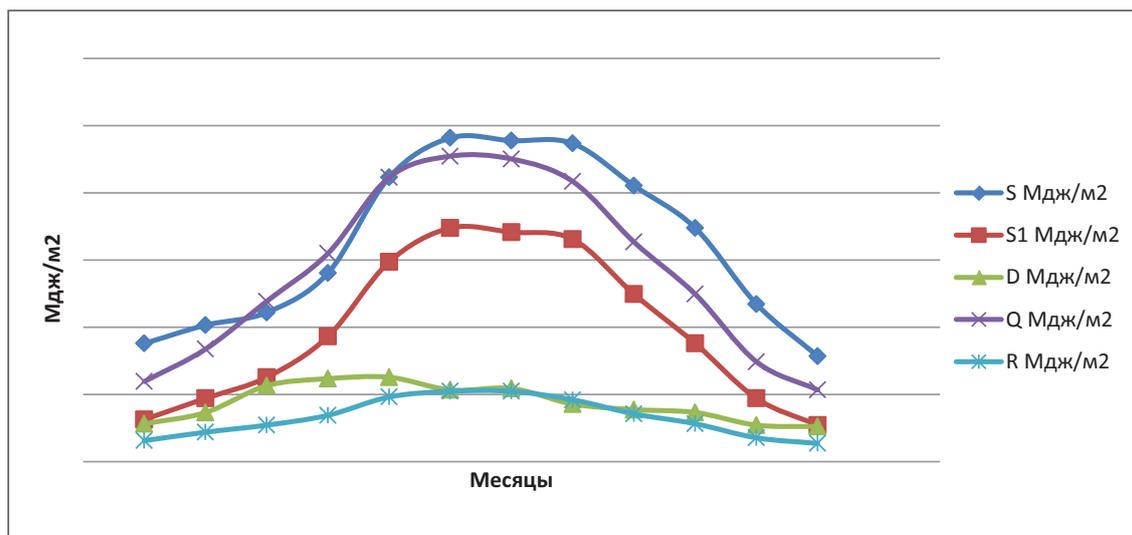


Рис. 1. Годовой ход солнечной радиации на территории Туркменистана

Радиационный режим оазиса характеризует ст. Туркменабат, расположенная на левом берегу р. Аму-Дарья. Общий рельеф местности ровный. Почва суглинистая с примесью солончака. Грунтовые воды залегают на небольшой глубине – 0,5–1 м. Деятельная поверхность актинометрической площадки – естественный густой травяной покров, не выгорающий даже летом.

Приход солнечной радиации определяется прежде всего астрономическими факторами – продолжительностью дня и высотой солнца.

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является одним из основных климатообразующих факторов. В свою очередь, она в значительной степени зависит от циркуляции атмосферы и особенностей подстилающей поверхности.

Общий характер циркуляционных процессов на территории Туркмении определяется географическим положением. Рассматриваемая территория расположена между 41 и 36° с. ш. Отличительной особенностью территории является расположение ее в глубине континента и отсутствие обширных водных объектов. Все это обуславливает общую засушливость климата, проявляющуюся в отсутствии осадков в длительный летний период. В результате этого развивается почвенная засуха и термическая депрессия, характеризующаяся безоблачным небом, высокими температурами воздуха и пыльной мглой. На западе территория Туркмении примыкает к восточному побережью Каспийского моря. Близость водного

бассейна смягчает засушливый климат только узкой прибрежной полосы, влажность воздуха здесь сильно повышается, часто бывают дымки, туманы. Открытое положение территории Туркмении с севера и северо-запада благоприятствует проникновению холодных воздушных масс, вследствие чего зимой выпадают осадки в виде дождя, а иногда и снега, наблюдаются отрицательные температуры воздуха и почвы [12–19].

При ясном небе основными факторами, определяющими приход радиации, являются высота солнца и прозрачность атмосферы.

Территория Туркмении расположена в южных районах, где высота солнца в полдень не опускается ниже 26–32° в декабре и достигает 72–76° в июне. Годовой приход прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе (т. е. возможный приход) составляет по территории 146–154 ккал/см².

Годовые суммы рассеянной радиации при безоблачном небе составляют 32–39 ккал/см².

Незначительная нижняя облачность в Туркмении снижает поступление прямой солнечной радиации всего на 27–35% от возможной и в то же время увеличивает рассеянную радиацию на 25–40%. В результате при реальных условиях облачности годовой приход суммарной радиации уменьшен по сравнению с возможным на 13–19% и колеблется в пределах 145–163 ккал/см². При этом вклад прямой солнечной радиации в суммарную является основным (табл. 3).

Таблица 3

Отношение месячных сумм прямой радиации к суммарной, %

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кара-Богаз-Гол	43	50	52	59	66	74	74	73	73	72	63	50
Ак-Молла	53	54	55	57	66	72	74	77	76	69	62	52
Чарджоу	53	54	55	60	70	76	79	82	76	70	63	51
Ясхан	47	55	53	59	69	71	72	76	74	70	61	48
Беки-Бент	58	57	56	56	65	70	66	67	70	69	63	60
Ашхабад, Кеши	51	52	54	57	66	70	71	74	71	68	57	50
Гасан-Кули	56	56	55	54	61	61	62	63	67	67	56	51

Таблица 4

Экстремальные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность (ккал/см мес.)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	4.0	5.7	7.6	9.4	13.6	16.2	17.4	15.8	12.7	9.3	5.7	3.8
	2.9	3.4	4.4	4.5	10.2	13.0	13.6	12.1	11.0	6.2	3.7	1.2
Туркменабат	4.7	7.2	8.0	11.0	15.7	18.2	19.2	18.5	13.7	10.0	6.2	3.8
	2.0	3.0	4.4	7.3	9.7	14.1	15.7	14.0	10.8	7.7	3.5	1.5
Беки-Бент	4.3	6.9	7.2	9.2	12.9	15.8	14.0	13.4	11.6	9.0	5.7	4.2
	2.8	3.1	4.4	5.6	9.1	11.6	10.0	9.4	8.6	5.9	3.4	2.8
Ашхабад, Кеши	3.8	6.8	6.7	9.4	14.0	16.2	16.2	15.0	12.4	9.2	4.5	3.6
	1.9	2.3	2.5	4.2	8.9	12.2	12.2	10.6	8.9	5.6	3.2	1.8
Гасан-Кули	4.4	6.7	7.8	9.5	14.1	14.1	14.4	12.7	11.6	8.0	5.9	4.3
	2.8	3.1	3.7	4.5	8.6	11.1	9.4	9.0	6.6	4.9	3.1	2.4

В отдельные годы отмечаются значительные отклонения месячных сумм радиации от средних величин, помещенных в таблицах Справочника. Различия в экстремальных суммах прямой радиации достигают 2–4,5 ккал/см² зимой и 4–6 ккал/см² весной и летом (табл. 4). В таблицах 3–4 указаны экстремальные суммы радиации по срочным наблюдениям с учетом поправочного коэффициента на кривизну суточного хода.

С наиболее пониженной прозрачностью атмосферы (мгла, пыльные бури) наблюдаются увеличенные значения рассеянной радиации и, на август 1965 г., для предгорной долины – ст. Ашхабад, Кеши, по данным регистрации с декабря 1961 г. по декабрь 1964 г.

Приходя на земную поверхность, солнечная радиация (прямая и рассеянная) поглощается ею в зависимости от альbedo подстилающей поверхности приведены в таблице 5-8.

Альbedo естественных поверхностей на рассматриваемой территории колеблет-

ся в среднем от 22 до 35% в течение года. Резкое изменение альbedo зимой наблюдается только в отдельные дни при выпадении снега.

Снежный покров на территории Туркмении очень неустойчив, поэтому в зимние месяцы альbedo в среднем не повышается, за исключением горных районов.

На побережье Каспийского моря в 50–80% зим снежный покров совсем не наблюдается, в остальные зимы максимальная высота снежного покрова колеблется в пределах от 1 до 10 см. В предгорьях Копет-Дага полное отсутствие снежного покрова наблюдается в 5–15% зим. В горных районах на высотах 2000–3000 м снежный покров устанавливается в конце ноября – начале декабря, высота его достигает 20–30 см. Сход снежного покрова наблюдается в первой половине марта. На большей части Туранской низменности Туркменистана, в предгорьях Копет-Дага поверхности с редкой растительностью составляет 47–53 ккал/см², с густой травяной растительностью – 71 ккал/см².

Таблица 5

Суточные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной и суммарной радиации в безоблачные дни Юго-Восточной территорий (кал/см²) (октябрь 1962 г. – июнь 1965 г.).

Месяц	Прямая радиация			Рассеянная радиация			Суммарная радиация		
	Средняя	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.	Средн.	Макс.	Мин.
I	216	283	118	64	110	55	280	338	228
II	312	430	152	68	134	58	380	488	286
III	418	576	202	87	193	72	505	648	395
IV	522	628	251	111	230	80	633	708	481
V	600	756	284	133	«258	108	733	864	542
VI	627	883	404	140	267	117	767	900	671
VII	579	735	413	144	265	116	723	851	678
VIII	552	670	365	121	241	94	673	764	606
IX	456	574	290	102	184	83	558	657	474
X	337	458	182	89	172	64	426	522	354
XI	247	379	128	63	127	41	310	420	255
XII	207	258	91	47	100	40	254	298	191

Таблица 6

Часовые и дневные суммы суммарной радиации Юго-Восточного Туркменистана (кал/см²)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				2	10	20	26	30	31	28	22	10	3	0			182
II			1	6	18	28	36	40	42	38	31	18	7	2	0		267
III		0	4	14	27	39	50	57	54	51	41	28	16	4	1		386
IV		2	12	24	38	53	60	62	63	59	54	39	26	11	2		505
V		6	21	38	52	61	72	75	75	69	58	46	31	15	3		622
VI	2	11	27	43	57	71	79	84	84	79	70	56	40	23	7	1	734
VII	1	9	25	42	56	70	78	82	82	78	69	55	40	23	5	1	716
VIII		4	18	38	53	67	75	81	80	74	65	50	36	17	1	0	659
IX		2	11	30	47	58	68	73	70	64	55	39	23	12	0		552
X		0	4	18	32	46	56	60	57	53	41	23	12	3			405
XI		1	7	18	29	38	42	39	35	26	16	6	0				257
XII			3	11	20	27	30	29	26	19	10	2					177

Разница между максимальными и минимальными значениями радиационного баланса в зимние месяцы составляет 0,8–1,5 ккал/см², а в летние месяцы эта разница может достигать 4 ккал/см² (табл. 9).

Суточный ход солнечной радиации и радиационного баланса определяется прежде всего изменениями высоты солнца в течение дня. Поэтому максимум солнечной радиации (при наличии облачности и при ясном небе) наблюдается в полдень. Наряду с

этим на суточный ход радиации оказывает влияние прозрачность атмосферы, что ярче проявляется в условиях ясного неба.

На территории Туркмении прозрачность атмосферы изменяется в больших пределах. После выпадения осадков она имеет повышенные значения. Понижение прозрачности атмосферы вызывается частыми пыльными бурями, возникающими при сильных ветрах, и адвективной мглой, когда пыль переносится даже при слабых ветрах.

Таблица 7

Часовые и дневные суммы рассеянной радиации
Юго-Восточного Туркменистана (кал/см)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				2	6	10	12	14	14	14	11	6	2				91
II			1	4	9	13	15	18	18	17	14	9	4	2			124
III		0	3	8	13	18	21	24	24	23	21	16	10	3	0		185
IV		1	7	13	19	23	26	29	27	26	23	20	14	7	1		236
V		4	10	13	17	19	21	23	24	22	20	18	14	9	1		216
VI	1	5	10	13	15	18	20	20	20	21	19	17	14	10	2	1	208
VII	1	4	9	12	14	15	17	18	18	18	17	16	14	10	4	1	188
VIII		2	7	10	12	13	15	17	16	15	14	13	11,8	7	4	0	153
IX		2	5	8	10	11	13	14	13	13	12	10		4	1		123
X		0	3		10	11	12	13	13	13	12	9	6	2	0		111
XI			1	4	8	11	12	13	13	11	10	6	2	0			91
XII				2	6	10	12	14	14	12	9	4	1				84

Таблица 8

Часовые и дневные суммы прямой радиации
на горизонтальную поверхность Юго-Восточной части страны (кал/см²)

Месяцы	Часы																Сумма за день
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
I				0	4	10	14	16	17	14	11	4	1				91
II			0	2	9	15	21	22	24	21	17	9	3				143
III		0	1	6	14	21	29	33	30	28	20	12	6	1	0		201
IV		1	5	11	19	30	34	33	36	33	31	19	12	4	1		269
V		2	11	25	35	42	51	52	51	47	38	38	17	6	1		406
VI	1	6	17	30	42	53	59	64	64	58	51	39	26	13	3	0	526
VII		5	16	30	42	55	61	64	64	60	52	39	26	13	1	0	528
VIII		2	11	28	41	54	60	64	64	59	51	37	25	10	0	0	506
IX		0	6	22	37	47	55	59	57	51	43	29	15	8	0		429
X		0	1	11	22	35	44	47	44	40	29	14	6	1			294
XI				3	10	18	26	29	26	24	16	10	4	0			166
XII				1	5	10	15	16	15	14	10	6	1				93

Таблица 9

Экстремальные суммы радиационного баланса (ккал/см²мес)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	Число лет наблюдений	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		Туркменабат	7	1.6	2.8	5.0	7.8	10.4	11.4	11.5	10.3	7.6	4.6
		0.9	1.9	3.9	5.6	8.2	9.4	9.5	8.6	6.4	3.8	0.8	0.7
Беки-Бент	6	1.2	2.1	3.8	5.6	7.7	8.0	7.7	6.7	4.8	3.1	1.7	1.2
		0.2	1.3	2.7	4.2	5.8	6.4	5.9	5.1	3.4	2.3	0.7	0.0
Ашхабад, Кеши	10	1.7	2.8	4.1	5.7	8.7	8.3	7.8	6.9	5.2	3.0	1.6	1.0
		0.5	1.3	2.3	3.6	6.5	6.4	6.3	5.5	3.6	2.2	0.6	0.2
Гасан-Кули	7	1.8	2.5	4.8	6.3	8.4	10.0	9.7	7.5	6.1	4.2	2.0	1.6
		1.5	1.9	3.8	4.0	6.4	6.1	6.0	6.2	3.7	2.4	1.0	0.1

Количество пыльных, бурь связано с характером и состоянием подстилающей поверхности. На песчаных и лёссовых сухих почвах очень часто (даже при умеренном ветре 5–6 м/сек) наблюдаются пыльные и песчаные поземки, при усилении ветра поземок переходит в пыльную бурю. Повторяемость пыльных бурь имеет суточный и годовой ход. В большинстве районов ночью и в ранние утренние часы пыльные бури не отмечаются. После восхода солнца число случаев с пыльной бурей нарастает и достигает максимума в середине дня, а затем начинается умеренный спад. В летнее время пыль, поднятая вверх местными конвективными токами, держится в открытых районах непродолжительное время (один или несколько дней), а затем быстро оседает. В предгорных районах пыль, поднятая на большие высоты, задерживается, и мгла отмечается длительное время. Самое большое число дней с пыльными бурями наблюдается на западе Туркмении, в южной части пустыни Каракумы и в северных предгорьях Копет-Дага. В центральной части орошаемых оазисов пыльные бури наблюдаются реже. Так, в Юго-Восточных Каракумах (Репетек) максимальное число дней с пыльными бурями за год достигает 105 (при среднем, равном 70), в оазисе (район Туркменабада) – в среднем 15–25 дней.

Средние за месяц величины интенсивности прямой солнечной радиации, поступающей на перпендикулярную поверх-

ность, в безоблачные дни, при средней прозрачности атмосферы колеблются с ноября по март в полдень от 1,28 до 1,40 кал/см²мин. От весны к лету в связи с понижением прозрачности атмосферы интенсивность прямой радиации в безоблачные дни уменьшается и составляет в летние месяцы для равнинных районов 1,25–1,31 кал/см²мин, для предгорных районов 1,16–1,28 кал/см²мин.

На интенсивность прямой радиации на горизонтальную поверхность оказывает влияние прежде всего астрономический фактор – высота солнца. Максимум прямой радиации приходится на месяцы с наибольшей высотой, т. е. на июнь и июль, а в суточном ходе на полуденные часы. Прямая радиация изменяется в среднем в течение года в дневные часы на севере территории от 0,83 до 1,20 кал/см²мин, в центральной части оазиса – от 0,60 до 1,22 кал/см²мин, в южной части территории – от 0,60 до 1,18 кал/см²мин.

В дни с наиболее низкой прозрачностью атмосферы интенсивность прямой радиации сильно понижается, а интенсивность рассеянной радиации повышается, особенно в летний период, когда велико число дней со мглой и пыльными бурями (табл. 10, 11).

Облачность понижает интенсивность прямой и суммарной радиации и увеличивает рассеянную радиацию.

Рассеянная радиация изменяется по всей территории в дневные часы в зависимости от вида и плотности облачности в пределах 0,20–0,40 кал/см²мин.

Таблица 10

Экстремальные значения интенсивности прямой радиации на перпендикулярную поверхность (кал/см мин) в безоблачные дни в срок 12 ч. 30 м (первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	1.48	1.48	1.50	1.46	1.42	1.40	1.40	1.45	1.47	1.47	1.48	1.48
	0.98	0.97	0.95	0.93	0.80	0.78	0.77	0.80	0.88	0.90	1.00	1.08
Туркменабат	1.49	1.52	1.53	1.53	1.55	1.54	1.44	1.44	1.49	1.54	1.50	1.48
	0.95	0.94	0.90	0.88	0.88	0.80	0.80	0.85	0.86	0.90	0.98	0.96
Ясхан	1.45	1.47	1.51	1.46	1.44	1.40	1.39	1.40	1.42	1.44	1.44	1.44
	1.14	1.12	0.91	0.91	0.89	0.87	0.85	0.97	0.99	1.00	1.10	1.12
Беки-Бент	1.48	1.53	1.55	1.48	1.45	1.43	1.45	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46
	1.10	0.92	0.90	0.86	0.80	0.76	0.75	0.80	0.83	0.85	0.89	1.05
Ашхабад, Кеши	1.46	1.48	1.46	1.42	1.40	1.38	1.42	1.45	1.46	1.48	1.47	1.46
	1.05	1.02	1.01	1.00	0.95	0.81	0.80	0.72	0.75	0.76	0.96	0.97
Гасан-Кули	1.56	1.54	1.53	1.52	1.51	1.50	1.44	1.42	1.43	1.49	1.50	1.50
	1.16	1.16	1.15	1.08	1.00	0.82	0.76	0.85	0.90	0.96	0.98	1.10

Таблица 11

Экстремальные значения интенсивности рассеянной радиации
в безоблачные дни в срок 12 ч. 30 м. (кал/см² мин)
(первая строка – максимальные, вторая строка – минимальные)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ак-Молла	0.22	0.26	0.28	0.32	0.38	0.48	0.50	0.45	0.34	0.32	0.27	0.25
	0.08	0.08	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
Туркменабат	0.25	0.38	0.40	0.41	0.47	0.50	0.53	0.45	0.41	0.37	0.30	0.28
	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08
Ясхан	0.24	0.25	0.27	0.29	0.38	0.37	0.38	0.33	0.28	0.26	0.25	0.25
	0.06	0.08	0.08	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.08	0.07
Беки-Бент	0.21	0.26	0.42	0.42	0.43	0.44	0.44	0.42	0.39	0.28	0.25	0.22
	0.06	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07
Ашхабад, Кеши	0.21	0.28	0.39	0.40	0.41	0.48	0.48	0.48	0.44	0.41	0.32	0.23
	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07
Гасан-Кули	0.20	0.22	0.39	0.41	0.42	0.43	0.43	0.41	0.41	0.37	0.32	0.23
	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.14	0.14	0.12	0.09	0.09

Максимальные интенсивности суммарной радиации наблюдаются в июне и июле и колеблются в предгорных районах от 1,10 до 1,37 кал/см²мин.

В отдельные дни при определенных условиях облачности, не закрывающей солнечного диска, интенсивность суммарной радиации может достигать 1,80–1,90 кал/см²мин.

Радиационный баланс при облачности уменьшен по сравнению с ясным небом, но в меньшей степени, чем прямая и суммарная радиация, так как облачность уменьшает и расходную часть радиационного баланса – эффективное излучение.

Радиационный баланс в суточном ходе имеет положительные и отрицательные значения. Максимум положительных значений наблюдается около полудня. Максимальные отрицательные значения наблюдаются вскоре после захода солнца.

Самые высокие значения радиационного баланса в дневное время имеют поверхности, покрытые густым травяным покровом; их баланс в среднем за месяц летом равен 0,50–0,85 кал/см²мин.

Максимальные значения баланса в отдельные дни достигают 1,20–1,30 кал/см²мин. Эти значения в основном наблюдаются при кучевой облачности, когда суммарная радиация достигает 1,50–1,90 кал/см²мин.

Максимальные дневные значения радиационного баланса оголенной почвы летом составляют в среднем 0,50–0,70 кал/см²мин.

В отдельные сроки при кучевой облачности они достигают 1,00–1,20 кал/см²мин.

Радиационный баланс в ночное время в среднем изменяется от –0,04 до –0,10 кал/см²мин, в отдельные ясные ночи достигает –0,15 кал/см²мин.

В южных районах Каспийского моря влажность воздуха повышена по сравнению со всей территорией Туркмении, это сказывается на суточном, месячном и годовом ходе радиационного баланса. Влажность воздуха уменьшает эффективное излучение, поэтому максимальные отрицательные значения радиационного баланса в ясные ночи в районе Гасан-Кули колеблются в пределах от –0,03 до –0,07 кал/см²мин.

Основой для определения времени служит видимое суточное движение солнца по небесному своду. Момент, когда солнце находится точно на юге, т. е. на меридиане данного места, называется истинным полднем. Промежуток времени между истинными полднями двух соседних дней называется истинными солнечными сутками. Вследствие неравномерного видимого движения солнца в течение года продолжительность истинных солнечных суток неодинакова, поэтому на метеорологических станциях удобнее пользоваться средним солнечным временем.

Среднее солнечное время имеет одинаковую продолжительность суток в течение всего года. Продолжительность этих суток равна средней за год продолжительности

истинных суток и служит основной единицей, которая делится на часы, минуты и секунды. Разность между средним солнечным временем и истинным временем (уравнение времени) изменяется в течение года, но не бывает больше 16 мин.

За момент полдня принято время 12 час. Во всех точках, расположенных на одном и том же меридиане, полдень (и любой иной час времени) наступает одновременно. Каждому меридиану соответствует свое местное среднее солнечное время. В один и тот же физический момент среднее солнечное время больше на том меридиане, который расположен восточнее [13,18,94,108].

В гражданской жизни для упрощения счета времени принята система поясного времени. По этой системе весь земной шар разделен меридиональными плоскостями на 24 равных пояса по 15° каждый. Пояса обозначаются номерами от 0 до XXIII. За средний меридиан нулевого пояса принят меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию под Лондоном, а ограничивающими его меридианами являются: меридиан $7,5^\circ$ з. д. и $7,5^\circ$ в. д. от Гринвича. В первом поясе средним меридианом является меридиан 15° от Гринвича, а ограничивающими – меридианы $7,5^\circ$ и $22,5^\circ$ в. д. и т. д. Средние меридианы для поясов даны в таблице 12.

В пунктах, расположенных внутри каждого часового пояса, принимается время среднего меридиана этого пояса. Такое время называется *поясным*. Разность времени двух соседних поясов равна одному часу. Время каждого пояса отличается от времени нулевого пояса (гринвичского времени) на число часов, равное номеру пояса. Время гринвичского меридиана называют также единым временем, по нему, в частности, устанавливаются синоптические сроки наблюдений на станциях.

В период Советского Союза в связи с большой протяженностью территории по широте, по экономическим соображениям, декретом правительства от 16 июня 1930 г. стрелка часов переведена на один час вперед против поясного времени. Это время было названо *декретным*.

Декретное время соответствует, следовательно, не среднему меридиану пояса, а меридиану, лежащему на 15° восточнее, т. е. среднему меридиану следующего по порядку пояса. Например, во втором поясе, к которому принадлежат Москва и Санкт-Петербург, принимается время не меридиана 30° , а меридиана 45° в. д.

Для того чтобы перейти от декретного времени к среднему солнечному, нужно декретному времени придать постоянную поправку. Поправка вычисляется как разность долготы пункта и долготы среднего меридиана данного пояса, увеличенной на 15° , и переводится из угловых единиц в единицы времени с учетом того, что 15° соответствует 1 часу, 1° соответствует 4 мин., Г (угловая минута) соответствует 4 сек. Поправку можно определить и по следующей формуле:

$$4(\lambda - 15N) - 60 \text{ МИН.},$$

где λ – долгота пункта в град., N – порядковый номер данного пояса.

По данным о времени восхода и захода солнца, указанном в табл. 1.13, можно вычислить продолжительность дня на 15-е число месяца для приведенных станций. Для определения продолжительности дня или времени восхода и захода солнца в любом пункте рассматриваемой территории можно пользоваться данными табл. 13.

Как видно из таблицы 13. среднее солнечное время восхода (в) и захода (з) солнца (час, мин.). В таблице помещено время восхода и захода солнца для каждой станции на 15-е число месяца (для февраля на 14-е число) по среднему солнечному времени.

За время восхода (захода) солнца в метеорологии принимается момент появления над горизонтом (исчезновения под горизонтом) верхнего края диска солнца. Действительное время появления или исчезновения диска солнца зависит от профиля линии горизонта на данной станции. Время восхода может быть более поздним при значительной закрытости в азимутах восхода солнца, а время захода – более ранним при закрытости горизонта в азимутах захода солнца.

Таблица 12

Средние меридианы для поясов времени

№ пояса	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний меридиан	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180

Таблица 13

Среднее солнечное время восхода (в) и захода (з) солнца
на 15-е число по широте (час, мин.)

Широта (град.)		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII	
		в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з	в	з
44	в	7 32	7 00	6 13	5 18	4 34	4 16	4 31	5 03	5 37	6 14	6 55	7 27												
	з	16 46	17 28	18 05	18 42	19 18	19 44	19 41	19 07	18 13	17 18	16 33	16 23												
42	в	7 25	6 56	6 13	5 21	4 40	4 24	4 37	5 07	5 39	6 12	6 50	7 21												
	з	16 53	17 32	18 05	18 39	19 12	19 36	19 35	19 03	18 11	17 20	16 38	16 29												
40	в	7 20	6 53	6 12	5 23	4 45	4 30	4 43	5 11	5 40	6 10	6 45	7 14												
	з	16 58	17 35	18 06	18 37	19 07	19 30	19 29	18 59	18 10	17 22	16 43	16 36												
38	в	7 15	6 50	6 12	5 25	4 50	4 37	4 49	5 15	5 41	6 07	6 41	7 09												
	з	17 03	17 38	18 06	18 35	19 02	19 23	19 23	18 55	18 09	17 25	16 47	16 41												
36	в	7 10	6 48	6 12	5 27	4 55	4 43	4 54	5 18	5 42	6 07	6 36	7 03												
	з	17 18	17 40	18 06	18 33	18 57	19 17	19 18	18 52	18 08	17 25	16 52	16 47												

В горах или на берегу моря (и в море) линия горизонта может лежать ниже уровня станции, и действительный восход солнца будет наблюдаться раньше времени вычисленного (теоретического), а время захода соответственно – позднее вычисленного.

Высота солнца на 15-е число месяца (град.). В таблице приводится высота солнца над горизонтом на 15-е число месяца (в феврале на 14-е число), вычисленная для сроков наблюдений на актинометрических станциях. В первой графе таблицы указано начало сроков наблюдений по среднему солнечному времени. Высота солнца соот-

ветствует времени середины наблюдения, обычно отстоящей на 4 мин. от начала срока, и интенсивности радиации, приведенной в таблице 14.

Для характеристики максимальных высот солнца на 15-е число представлены в таблице полуденных высот солнца по широте таблицы 14, и на рисунке 1 для Юго-Восточных территорий Туркменистана.

Характеристики радиационных режимов месячные и годовые суммы радиации в ккал/см² и Мдж/м² и регрессивная зависимость представлены и на рисунке 2 для Юго-Восточной части страны [12-13,35-37].

Таблица 14

Высота солнца в полдень на 15-е число месяца (град.)

Широта (град.)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
52	16.8	24.9	35.8	47.7	56.8	61.3	59.6	52.2	41.1	29.6	19.6	14.7
50	18.8	26.9	37.8	49.7	58.8	63.3	61.6	54.2	43.1	31.6	21.6	16.7
48	20.8	28.9	39.8	51.7	60.8	65.3	63.6	56.2	45.1	33.6	23.6	18.7
46	22.8	30.9	41.8	53.7	62.8	67.3	65.6	58.2	47.1	35.6	25.6	20.7
44	24.8	32.9	43.8	55.7	64.8	69.3	67.6	60.2	49.1	37.6	27.6	22.7
42	26.8	34.9	45.8	57.7	66.8	71.3	69.6	62.2	51.1	39.6	29.6	24.7
40	28.8	36.9	47.8	59.7	68.8	73.3	71.6	64.2	53.1	41.6	31.6	26.7
38	30.8	38.9	49.8	61.7	70.8	75.3	73.6	66.2	55.1	43.6	33.6	28.7
36	32.8	40.9	51.8	63.7	72.8	77.2	75.6	68.2	57.1	45.6	35.6	30.7

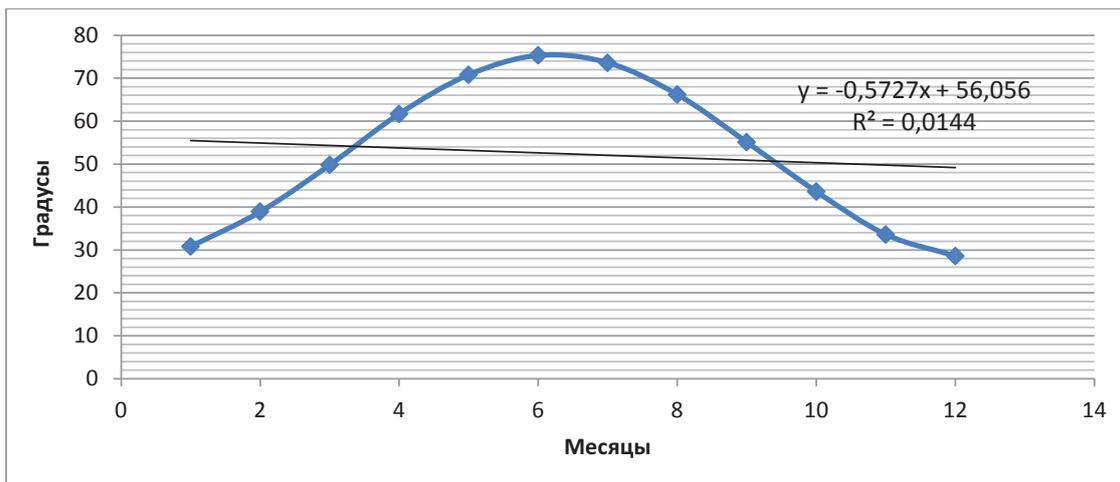


Рис. 2. Высота солнца полдень на 15 число месяца на территории Юго-Восточной части Туркменистана

Солнечное сияние. Данные по продолжительности солнечного сияния необходимо учитывать в сельском хозяйстве для правильного размещения различных сельскохозяйственных объектов. При строительстве различного рода сооружений, когда требуется знание освещенности того или иного района в течение различных сезонов года, месяцев или суток, а также при использовании энергии солнца, например, для отопления жилых домов, нагрева воды и т.д.

На сети метеорологических станций Советского периода основными приборами для записи солнечного сияния является гелиограф универсальной модели, который при малой высоте солнца над горизонтом, когда напряжение радиации бывает слабым, не всегда регистрирует солнечное сияние и запись солнечного сияния получается преуменьшенной. Прожоги на ленте по гелиографу универсальной модели начинаются при напряжении радиации $0,3-0,4 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$.

Как правило замеры проводились на метеостанциях, гелиограф был устанавливался на отдельном столбе высотой 2 м от поверхности земли на открытом месте, доступном лучам солнца от восхода до захода солнца во все месяцы года. Иногда гелиограф устанавливается на специальных вышках или на крышах зданий вблизи метеорологической площадки [13-19,21-25,48,82,94-98].

Характеристика солнечного сияния. В этом разделе рассматривается пять характеристик солнечного сияния: продолжительность солнечного сияния (часы); отношение наблюдавшейся продолжительности

солнечного сияния к возможной (%); число дней без солнца. Суточный ход продолжительности солнечного сияния (часы).

Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния по градациям (в % от общего числа случаев с непрерывным солнечным сиянием).

Территория Туркменистана представляет собой низменную равнину, являющуюся южной частью обширной Туранской впадины. Лишь на юге возвышаются хребты Туркмено-Хорасанских гор и отрогов Паропамизской и Гиссарской горных систем.

С запада рассматриваемая территория омывается водами Каспийского моря. На востоке граница Туркмении проходит примерно по руслу р. Аму-Дарья.

Продолжительность солнечного сияния в любом пункте зависит от длины дня, от облачности и по мере продвижения с севера на юг и с запада на восток, как правило, увеличивается. Широтное распределение солнечного сияния по территории нарушается наличием облачного покрова, обусловленного особенностями атмосферной циркуляции.

В горных районах вследствие естественной защищенности увеличение числа часов солнечного сияния с высотой наблюдается лишь на открыто расположенных станциях.

В связи с близостью Каспийского моря в прибрежной полосе (Челекен, Гасан-Кули) наблюдается увеличение числа облачных дней и дней с туманом, чем обуславливается уменьшение продолжительности солнечного сияния примерно на 400–450 час. в год по сравнению с внутренними районами рас-

смаатриваемой территории (Иолотань, Ер-бент). На северных склонах горных хребтов Копет-Дага наблюдается также увеличение числа дней с облачностью, в связи с чем продолжительность солнечного сияния здесь по сравнению с Центральными Каракумами меньше в среднем на 200 часов в году.

Наибольшая продолжительность солнечного сияния летом наблюдается на востоке Центральных и Юго-Восточных части Туркменистана (Ак-Молла, Атамырат, Ёолотань, Серхетабат) и достигает здесь 390–400 часов в месяц, что составляет 95–97% возможной продолжительности. Наименьшая продолжительность солнечного сияния в это время года – 310–320 часов в месяц (около 75% возможной) – имеет место в зоне сухих субтропиков, охватывающих юго-западную часть Туркмении (Кара-Кала, Гасан-Кули).

В зимний период в этом районе, наоборот, отмечается наибольшее число часов солнечного сияния – 150–165 час. в месяц (около 52% возможной). Наименьшая продолжительность солнечного сияния в это время года – 100–120 час. в месяц (около 38% возможной продолжительности) – наблюдается в предгорьях Копет-Дага и на севере рассматриваемой территории.

В годовом ходе наименьшая продолжительность солнечного сияния отмечается зимой (в декабре, январе), когда светлое время суток сокращается до минимума, а число облачных дней достигает максимальной величины в году. Наибольшая продолжительность солнечного сияния в Туркме-

нистане отмечается в июле в период почти полного отсутствия облаков (рис. 3).

В течение всего года для рассматриваемой территории характерны пыльные бури и мгла. Указанные явления особенно интенсивны в весеннее время, когда помутнение атмосферы от поднятых в воздух частиц пыли и песка бывает настолько сильным, что солнца совершенно не видно и прожога на ленте гелиографа не получается. В качестве примера можно привести пыльную бурю, наблюдавшуюся в Туркменабате 6 мая 1954 г.: вследствие помутнения атмосферы продолжительность солнечного сияния была вдвое меньше по сравнению с предыдущим днем (5 мая), когда отмечалась ясная погода при отсутствии пыльной бури.

В отдельные годы число часов солнечного сияния может значительно отклоняться от многолетних средних.

Продолжительность солнечного сияния (часы). В таблице представлено среднее многолетнее число часов солнечного сияния по месяцам и за год, полученное из рядов наблюдений различной длительности в пределах периода 1896–1963 гг. Однако ни на одной станции не было наблюдений за указанный период полностью.

Данные всех станций с периодом наблюдений менее 15 лет там, где это представлялось возможным, приведены к более длительному периоду методом разностей, а по ст. Кара-Богаз-Гол из-за удаленности сравниваемых пунктов использованы наблюдения за 12 лет без приведения, полученные путем непосредственного подсчета [13,74,82,117].

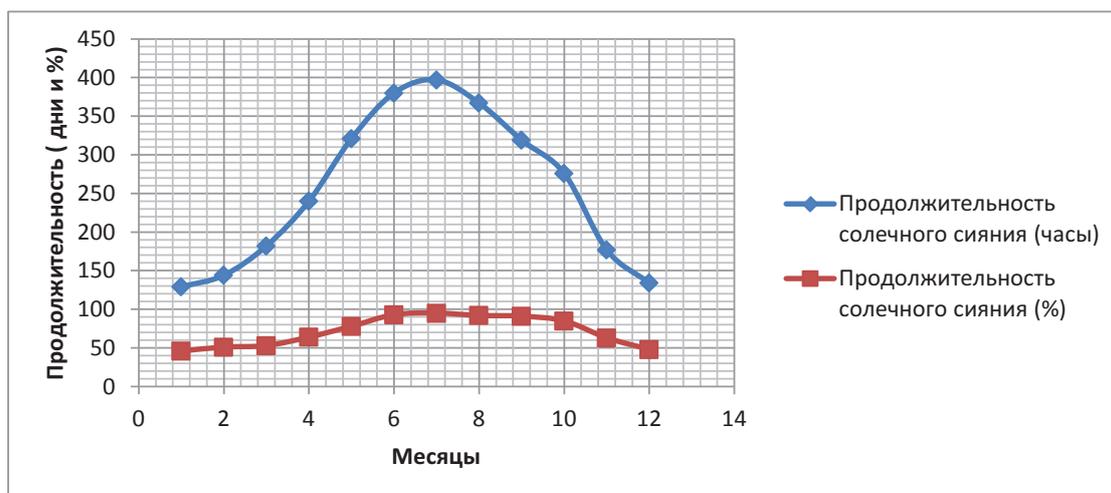


Рис. 3. Продолжительность солнечного сияния по часам и в процентном соотношении в Юго-Восточной территории Туркменистана

Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной (%). Указанная таблица дает представление о сравнительной ясности неба. Данные этого рисунка 2. представляют собой отношение фактически наблюдавшегося числа часов солнечного сияния к возможному, т. е. к теоретически вычисленному сиянию для данного пункта при условии безоблачного неба от восхода до захода солнца с учетом открытости горизонта. При составлении этой таблицы учитывались поправки на закрытость горизонта и чувствительность прибора.

На рисунке 2 в качестве примера приведено месячное среднее число часов и процентном соотношении солнечного сияния на территории Юго-Восточной страны.

Дополнением к месячным данным по продолжительности солнечного сияния является продолжительность его в различные часы суток. В летние месяцы солнечное сияние регистрируется в основном от 4 до 20 час. Уже в 9–10 час. продолжительность солнечного сияния близка к максимуму за сутки и только в 16–17 час. отмечается ее резкое уменьшение. На побережье Каспийского моря максимум продолжительности солнечного сияния летом наблюдается в интервале между 13 и 15 час. и составляет в среднем 28–29 час. в месяц, на остальной части территории максимальная продолжительность отмечается в течение нескольких часов подряд с 11 до 15 час. и составляет 29–30 час. в месяц.

Зимой запись солнечного сияния начинается значительно позже (около 7 час.) и заканчивается раньше (в 17–18 час.), при этом наибольшее число часов солнечного сияния отмечается около полудня в интервале между 12–14 час. и составляет на побережье Каспийского моря в среднем за месяц 14–16 час., на юге (Гасан-Кули) – 18–19 час., на остальной части территории – 15–18 час.

Наибольшая повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния приходится на градации от 12 до 14 час. подряд (июнь, июль) и составляет 50–60% в Центральных Каракумах, 70–75% в Юго-Восточных Каракумах, 30–35% в прибрежных районах Каспийского моря.

Зимой (декабрь–январь) наибольшая повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния на всей территории приходится на градацию 6–8 час. подряд (30–60%).

Наибольшее число дней без солнца отмечается зимой (в декабре, январе) в период наибольшей повторяемости облачных дней и дней с туманом. Больше всего облачных дней и дней без солнца в это время года (от 9 до 11 дней в месяц) отмечается в предгорьях и на севере рассматриваемой территории. Минимальное число дней без солнца (3–4) зимой наблюдается на крайнем юго-западе Туркмении и в горах на высотах более 1500 м (на открытых местах). С июня по сентябрь по всей территории Туркмении за рассматриваемый период наблюдений не отмечалось ни одного дня без солнца.

Число дней без солнца. На рис. 4. представляют многолетнее среднее число дней, когда солнечное сияние не наблюдалось в течение всего дня. Для составления графика использованы те же станции Юго-восточных Каракумов за тот же период, что и по продолжительности солнечного сияния. Данные станций с короткими рядами наблюдений там, где представлялось возможным, приведены к более длительному периоду (25–35 лет) методом разностей [11,13–19,23–25].

Повторяемость каждой градации, полученная подсчетом за имеющийся период, дается в процентах от общего числа случаев с непрерывным солнечным сиянием.

Выборка непрерывной продолжительности солнечного сияния производилась по ежедневным данным из таблиц солнечного сияния, а не по лентам гелиографов. За непрерывную продолжительность солнечного сияния условно принимались следующие записи в ежедневных данных:

Если запись числа часов солнечного сияния в каждом часовом интервале за какой-либо день была по 1,0 часу или с перерывом не более 0,1 часа между последующими часовыми интервалами.

Если в первом часовом интервале за какой-либо день запись начиналась с доли часа, например, с 0,6 часа, а затем была непрерывная запись по 1,0 часу в каждом последующем интервале и до последнего дробного числа, например, до 0,3 часа (конец непрерывной записи).

Если в какой-либо день запись числа часов солнечного сияния была прерывистой (переменная облачность), но на отдельных участках данного дня в таблице запись была равна или превышала 2 часа подряд, т. е. 1,0 и 1,0.

Таблица 15

Месячные и годовые суммы падающей солнечной радиации
на территорий Туркменистана (ккал/см²)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Среднее
Прямая солнечная радиация	S ккал/см ²	8,4	9,7	10,6	13,4	20,2	23	22,8	22,6	19,6	16,6	11,2	7,5	185,6	15,46667
Солнечная радиация горизонтальная поверхность	S1 ккал/см ²	3	4,5	6	8,9	14,2	16,6	16,3	15,8	11,9	8,4	4,5	2,6	112,7	9,391667
Рассеянная радиация	D ккал/см ²	2,7	3,5	5,4	5,9	6	5,1	5,2	4,1	3,7	3,5	2,6	2,5	50,2	4,183333
Суммарная радиация	Q ккал/см ²	5,7	8	11,4	14,8	20,2	21,7	21,5	19,9	15,6	11,9	7,1	5,1	162,9	13,575
Отраженная коротковолновая радиация	R ккал/см ²	1,5	2,1	2,6	3,3	4,6	5	5	4,4	3,4	2,7	1,7	1,3	37,6	3,133333
	Bk	4,2	5,9	8,8	11,5	15,6	16,7	16,5	15,5	12,2	9,2	5,4	3,8	125,3	10,44167
Радиационный баланс Q-R-Еэф	B	1,3	2,5	4,4	6,6	9,8	10,8	10,8	9,7	7,3	4,3	1,6	1	70,1	5,841667
	B+	2,7	3,9	5,8	7,7	11,1	12	12	11,1	8,8	5,9	3,2	2,3	86,5	7,208333
	B-	1,4	1,4	1,4	1,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,3	16,4	1,366667
Альbedo поверхности	A (%)	26	26	23	22	23	23	23	22	22	23	24	25	282	23,5

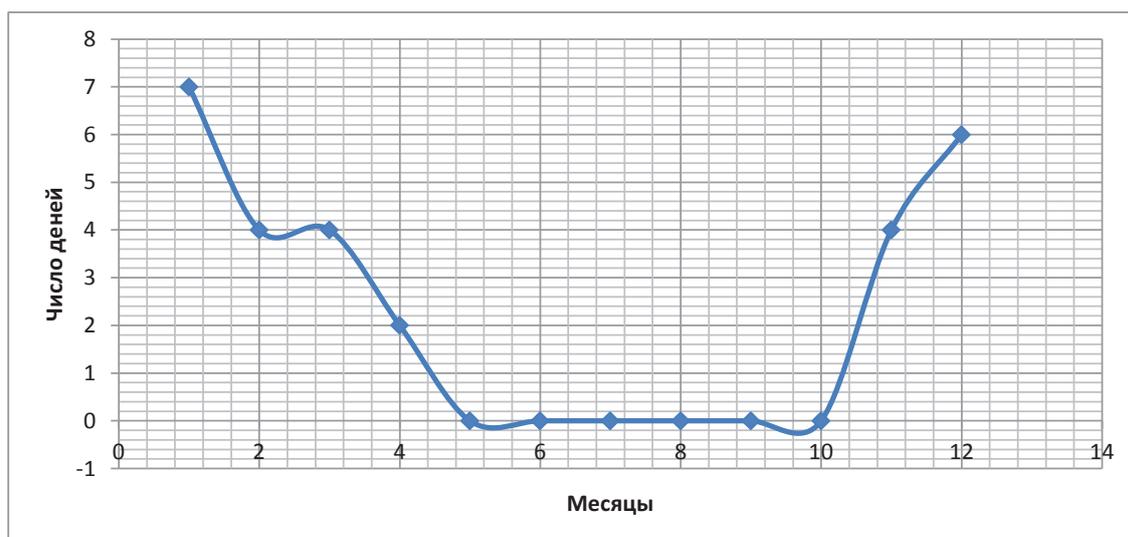


Рис. 4. Число дней без солнца в течение года. Продолжительность солнечного сияния по часам и в процентном соотношении в Юго-Восточной части страны

4. Теоретическое определение потенциалов солнечной энергии

Теоретическое определение валового потенциала солнечной энергии

Теория определения солнечного излучения. Солнечное излучение вблизи поверхности Земли имеет спектр, близкий к спектру черного тела с температурой 6000 К, с угловым диапазоном $\sim 0.5^\circ$. Интенсивность внеатмосферного солнечного излучения несколько изменяется при годовом движении Земли и в среднем составляет $I_0 = 1360 \text{ Вт/м}^2$ (солнечная постоянная). На поверхности Земли солнечное излучение включает следующие компоненты: прямое солнечное излучение с интенсивностью $I_{\text{п}}$, Вт/м², которая меньше внеатмосферной, и с измененным спектральным составом в основном за счет обеднения коротковолновой части спектра, что вызвано поглощением излучения при прохождении в атмосфере; рассеянное диффузное солнечное излучение с интенсивностью $I_{\text{д}}$, Вт/м² которое определяется коэффициентом отражения (альбедо) ρ ,

$$I_{\text{от}} = \rho \cdot (I_{\text{п}} + I_{\text{д}}) \quad (9)$$

Солнечное излучение зависит от географической широты точки на земной поверхности, ее высоты над уровнем моря, времени года и суток, облачности. Наибольшее значение интенсивности излучения может превышать 1000 Вт/м^2 [5,9-13,16-19].

В качестве характеристики прямого солнечного излучения при безоблачном небе используется понятие «атмосферной массы», связанной с длиной пути, проходимого излучением в атмосфере. Единицы атмосферной массы соответствует путь, проходимый излучением в направлении, перпендикулярном горизонтальной поверхности Земли. Атмосферная масса M определяется выражением:

$$M = \frac{2}{\left(\sqrt{\cos^2 \theta + \frac{2 \cdot H}{R_3} + \cos \theta} \right)} \approx \frac{2}{\left(\sqrt{\cos^2 \theta + 0.06 + \cos \theta} \right)}, \quad (10)$$

где θ – угол между направлениями в зенит и на Солнце, H – толщина атмосферного слоя, R_3 – радиус Земли. При таком определении внеатмосферное солнечное ($M = 0$) обозначается как АМО, наземное излучение в южных широтах на уровне моря в ясный день

– примерно как АМ1, чему по определению соответствует интенсивность прямого излучения $I_1 = 1000 \text{ Вт/м}^2$. Максимальное значение атмосферной массы, соответствующее нахождению Солнца вблизи горизонта ($\cos \theta = 0$), равно:

$$M_{\text{м}} = \frac{2}{\sqrt{\frac{2 \cdot H}{R_3}}} \approx 8. \quad (11)$$

Если пренебречь дисперсией коэффициента поглощения излучения в атмосфере и его зависимостью от высоты над поверхностью Земли, то интенсивность солнечного излучения для атмосферной массы M может быть представлена приближенным значением:

$$I_M = I_1 \cdot \left(\frac{I_1}{I_0} \right)^{M-1} = 1000 \cdot \left(\frac{1000}{1360} \right)^{M-1} \text{ Вт/м}^2 \quad (12)$$

При этом, в действительности, следует учитывать, что с увеличением атмосферной массы не только уменьшается интенсивность солнечного излучения, но и изменяется его спектральный состав в основном за счет более сильного обеднения коротковолновой части спектра [5,9-13,19-19].

Способы определения энергетических потоков солнечного излучения. В Туркменистане регистрация прихода солнечного излучения осуществляется государственной метеорологической службой с использованием сети актинометрических станций. Измерения проводятся стандартными термоэлектрическими приборами: интенсивности прямого солнечного излучения – актинометром АТ-50; интенсивность суммарного солнечного излучения (прямого плюс рассеянного) – пиранометром баллометрического типа М-80. Данные регулярно публикуются с 1961 г. в ежемесячниках и справочниках. Работы по созданию солнечного кадастра на территории бывшего СССР проводятся систематически на протяжении десятков лет в Главной геофизической обсерватории (ГГО) им. А.И. Воейкова в Санкт-Петербурге. Разработаны методы долгосрочного прогноза поступления солнечной энергии по всей территории бывшего СССР.

В тех случаях, когда в рассматриваемом регионе отсутствуют или недостаточно актинометрических станций, для расчета прихода солнечного излучения применяется косвенный метод, основанный на репрезен-

тативности данных по излучению на близлежащих станциях и соседних территориях с применением формулы Ангстрема, усовершенствованной Пейджем и представленной в работе:

$$E = E_0 \cdot \left(a + b \cdot \frac{t_c}{t_0} \right), \quad (13)$$

где E , кВт·ч/м² – суммарная плотность солнечного излучения на горизонтальную поверхность за определенный период времени (час, сутки, месяц, год); E_0 , кВт·ч/м² – суммарная плотность солнечного излучения при безоблачном небе за выбранный период времени; a, b – эмпирические коэффициенты, причем

$$a + b = 1, \quad (14)$$

t_c , ч – эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной местности в течении выбранного периода времени;

t_0 , ч – астрономически возможная продолжительность солнечного сияния для данной местности.

В работе [5,9-13,16-19] представлены некоторые оценки непрерывной продолжительности солнечного сияния для ряда пунктов, расположенных в различных климатических зонах бывшего СССР. С этой целью учитывалось (в % от общего количества дней наблюдений) непрерывная продолжительность солнечного сияния более 6 часов в сутки.

Рассчитанные и эмпирические данные в формуле (13) по территории СССР и представлены в виде карт и опубликованы в Метеорологическом ежемесячнике. В работах [5,9-13,19-19] приведена разбивка на 5-градусные (по широте) трапеции к югу от 70° северной широты в количестве 144 трапеций. Ошибка экстраполяции погодных данных по продолжительности солнечного сияния на расстоянии до 200 км (характерное расстояние для трапеции) составляет до 5% от натуральных в летний период и до 10% – в зимний период.

Для задач прогнозирования в области солнечной энергетики важное значение имеют не только средние величины сумм потоков солнечной энергии, ни и их изменения от года к году, что в первую очередь характеризуется многолетними среднеквадратичными отклонениями величин.

В работе [13] проведена оценка точности нахождения средних величин потоков солнечной энергии, используемая в гелио-

технике, в зависимости от числа лет наблюдений. В работе [13] приведены составленные карты среднеквадратичных отклонений суммарных приходов солнечной энергии. При этом обнаружено, что суммарный годовой приход солнечной энергии более устойчив от года к году, чем месячный, а тем более суточный, что вполне объяснимо значительно большим объемом статических данных в первом случае. Показано также, что распределения суточных суммарных потоков солнечной энергии, вообще говоря, отличаются от нормального распределения, включая асимметрию и эксцесс, причем их можно легко сгруппировать в определенные 6 типов распределений.

В данной работе предложено районирование территории на основе принципа ранжирования по следующим приоритетам: суммарный поток солнечной энергии, вклад прямого излучения в суммарную, повторяемость ежедневных сумм потоков энергии излучения, годовое число часов солнечного сияния с интенсивностью более 600 Вт/м², коэффициент вариации годовых сумм потоков энергии излучения.

Расчет потока солнечной энергии на наклонную поверхность и оптимизация угла наклона. Приведенные в предыдущем разделе актинометрических измерений и расчетов относятся к потокам солнечной энергии на горизонтальную поверхность. В то же время при проектировании солнечных энергоустановок возникает необходимость расчета данных по приходу энергии на наклонную поверхность приемника солнечного излучения, поэтому возникает задача установления соотношений между потоками солнечной энергии на эти поверхности.

В общем случае на наклонную поверхность падают все три отмеченные выше компоненты суммарного солнечного излучения: прямого солнечного излучения с интенсивностью I_n , рассеянного диффузного солнечного излучения с интенсивностью I_d и отраженного от поверхности Земли с интенсивностью $I_{от} = \rho(I_n + I_d)$, которые имеют различные угловые характеристики. Прямое излучение является узконаправленным, представляющим практически параллельный поток. Диффузная составляющая имеет практически изотропное угловое распределение, а угловое распределение отраженной составляющей определяется оптическими характеристиками отражения от земной по-

верхности рассматриваемой местности и зависит от рельефа, наличия снежной или водного покрова, растительности и застроек [5,9-13,16-19].

Соотношения между интенсивностью прямой составляющей солнечного излучения на горизонтальную поверхность I_{II} , Вт/м², и на наклонную поверхность I_{HI} , Вт/м², определяются выражениями:

$$I_{II} = I_{II} \cos \theta, \quad (15)$$

$$I_{HI} = I_M \cos \xi, \quad (16)$$

где I_M , Вт/м² – интенсивность прямого солнечного излучения на нормально ориентированную поверхность; θ – угол между направлениями на Солнце и зенит (угол падения на горизонтальную поверхность); ξ – угол между направлением на Солнце и нормально к наклонной поверхности (угол падения на наклонную поверхность), ориентированной на юг:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega, \quad (17)$$

$$\cos \xi = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta, \quad (18)$$

где δ – угол склонения, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности; ω – часовой угол движения Солнца, равный 0 в солнечный полдень; каждый час времени t соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня – отрицательными:

$$\omega = \pi t / 12 \quad (19)$$

моменты восхода и захода Солнца, определяемые условием $\theta = \pi/2$, выражаются одной и той же величиной t_s , которая считается положительной для восхода и отрицательной – для захода:

$$\cos \omega_s = \cos\left(\frac{\pi t_s}{12}\right) = -tg \delta tg \varphi, \quad (20)$$

β – угол наклона рассматриваемой поверхности к горизонту.

Значение угла солнечного склонения можно определить по формуле Купера

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left[360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365}\right], \quad (21)$$

где n – порядковый номер дня года, отсчитываемый с 1 января. Среднемесячные значения углов солнечного склонения δ° представлены в таблице 16.

Таблица 16

Среднемесячные значения углов солнечного склонения δ°

Месяц	I	II	III	IV	V	VI
Δ°	-12.1	-14.1	-2.8	9.2	18.7	+23.1

Месяц	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Δ°	+21.3	+13.5	+2.0	-9.6	-18.7	-23.5

Таким образом, отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности этого излучения на горизонтальную поверхность в любой момент времени рассчитывается из выражения

$$\frac{I_{HI}}{I_{II}} = \frac{\cos \xi}{\cos \theta}. \quad (22)$$

Если распределение рассеянного солнечного по небосводу равномерное (яркость неба, за исключением Солнца, одинакова), в том числе, когда небо покрыто облаками, сплошной туманной дымкой, интенсивность рассеянного излучения на наклонную поверхность зависит только от того, какую часть небосвода «видит» приемник, и оказывается равной:

$$I_{H2} = I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (23)$$

Аналогично рассчитывается значение интенсивности отраженного излучения на наклонную поверхность, определяющееся той частью поверхности Земли, когда «видит» наклонная поверхность:

$$I_{H3} = \rho(I_{II} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (24)$$

Суммарная интенсивность солнечного излучения на наклонную поверхность представляет совокупность трех указанных выше компонентов:

$$I_H = I_{HI} + I_{H2} + I_{H3} = I_M \cos \xi + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(I_{II} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (25)$$

Эта интенсивность является переменной во времени не только в силу суточного вращения Земли, определяющего явную временную зависимость часового угла ω (19), но и из-за случайной временной зависимости интенсивности прямого излучения.

Таблица 17

Значения $I_{HI} / I_{II} = \cos \xi / \cos \theta$ для широты $\varphi = 35^\circ$ и $\varphi = 45^\circ$

Φ°	Местное время, ч/Часовой угол ω										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	75	60	45	30	15	0	-15	-30	-45	-60	-75

1) при $\beta = 45^\circ$

+10	0,98	1,21	1,32	1,37	1,37	1,41	1,38	1,37	1,32	1,21	0,98
+20	0,71	0,96	1,07	1,16	1,2	1,2	1,2	1,16	1,07	0,96	0,71
+23,5	0,65	0,88	1,01	1,09	1,12	1,13	1,12	1,09	1,01	0,88	0,65

2) при $\beta = 35^\circ$

+10	1,0	1,2	1,3	1,34	1,36	1,37	1,36	1,34	1,3	1,2	1,0
+20	0,82	,1	1,12	1,18	1,21	1,22	1,21	1,18	1,12	1,1	0,82
+23,5	0,79	0,98	1,07	1,14	1,17	1,17	1,17	1,14	1,07	0,98	0,79

В общем случае зависимость интенсивности от угла наклона поверхности β обладает максимумом. В таблице 17 представлены значения параметра пересчета интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность $I_{HI} / I_{II} = \cos \xi / \cos \theta$ в зависимости от часового угла Солнца ω и угла склонения δ при различных углах наклона β для северной широты $\varphi = 45^\circ$, т.е. примерно для средней широты Туркменистана, по (14) [13,19].

Таким образом для средних широт Туркменистана и безоблачного неба в феврале, марте, сентябре, октябре (угол склонения Солнца $\delta=3^\circ$) поверхность целесообразно ориентировать на широту местности, в данном случае, под углом наклона $\beta=35^\circ$; в апреле, августе ($\delta \approx 10^\circ$) – под углом $\beta=45^\circ$; в мае, июне, июле ($\delta > 20^\circ$) – под углом $\beta=35^\circ$. Следует однако учесть, что таблице 17 не учитываются ранние часы суток по местному времени (до 7 ч) и поздние часы (после 17 ч), которые особенно существенны в летний период года. Учет всего времени суток приводит к уменьшению значения оптимального угла для летних месяцев.

Задача более точного определения оптимального угла наклона β с учетом реального поступления солнечной энергии включает определение полного потока солнечной энергии на наклонную поверхность в течение определенного периода времени (например, за месяц) при различных углах наклона посредством интегрирования (17) по времени и в дальнейшем выбор наиболее

эффективного значения β . Однако поскольку зависимость потока от времени имеет случайный характер, то и значение оптимального угла для рассматриваемого периода времени и данной местности, строго говоря, является случайной величиной [5,9-13,16-19].

В некоторых практических случаях можно сделать более упрощенную процедуру приближенного значения задачи. Действительно, условие оптимума по β для потока энергии прямого солнечного излучения может быть записано в виде:

$$\frac{d(\langle \cos \xi \rangle \Delta \omega)}{d\beta} = 0 \quad (26)$$

где средняя величина $\langle \cos \xi \rangle$ определяет средний поток солнечной энергии на наклонную плоскость на суточном интервале часовых углов освещения наклона поверхности Солнцем $\Delta \omega$:

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \langle \cos \omega \rangle + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta, \quad (27)$$

причем величина $\langle \cos \omega \rangle$ определяет средний за светлое время суток косинус часового угла Солнца.

Для «зимнего» полугодия ($\delta \leq 0$)

$$\Delta \omega = 2\omega_s; \langle \cos \omega \rangle = \frac{\sin \omega_s}{\omega_s}, \quad (28)$$

где ω_s – угол захода Солнца, что дает следующее уравнение для определения оптимального угла наклона β_{opt} :

$$\operatorname{tg}(\varphi - \beta_{\text{оп}}) \frac{\operatorname{tg} \delta \omega_s}{\sin \omega_s}. \quad (29)$$

Для «летнего» полугодия ($\delta \geq 0$)

$$\Delta \omega = 2\omega_c; \langle \cos \omega \rangle = \frac{\sin \omega_c}{\omega_c}, \quad (30)$$

где ω_c – часовой угол Солнца, соответствующий условию $\cos \xi = 0$, что дает:

$$\cos \omega_c = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg}(\varphi - \beta) \quad (31)$$

При этом величины $\Delta \omega$ и $\langle \cos \omega \rangle$ зависят от угла наклона β , что необходимо учитывать в поисках максимума значения $\langle \cos \omega \rangle \Delta \omega$.

Для зимних периодов до весеннего равноденствия и после осеннего равноденствия основной вклад в полный приход солнечной энергии дают часы вблизи солнечного полудня, причем часовые углы ω_s восхода и захода Солнца оказываются существенно меньше 90° . Поэтому в выражении (29) в этих случаях можно положить $\omega_s = 0$. Это дает простое выражение:

$$\beta_{\text{оп}} = \varphi - \delta, \quad (32)$$

что соответствует ориентации поверхности не только на юг, но и на направление максимума интенсивности прямого солнечного излучения в полдень.

При этом отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности прямого солнечного излучения в полдень.

При этом отношение интенсивности прямого солнечного излучения на наклонную поверхность к интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность приобретает значение (33)

$$\frac{I_{\text{нл}}}{I_{\text{п}}} = \frac{\cos \xi}{\cos \theta} = \frac{(\cos \delta)^2 \cos \omega + (\sin \delta)^2}{\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega},$$

при временах t , соответствующих условию близости к солнечному полудню, $I - \cos \omega \ll I$, оно дает (34)

$$\frac{I_{\text{нл}}}{I_{\text{п}}} = \frac{1}{\cos(\varphi - \delta)} - \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \delta) \sin 2\delta}{2} (1 - \cos \omega).$$

Соответствующее значение приобретает и интенсивности (23), (24).

Для летнего периода оптимальное решение $\beta_{\text{оп}}$ определяемое из уравнений (27), (30), (31), оказывается меньше значения

(32). На практике выражение (32) пригодно для оценочного расчета максимального прихода солнечной энергии в течение всего года. В частности, ему соответствуют выводы об оптимальной ориентации, сделанные по таблице 17.

Поскольку на практике интенсивности прямого солнечного излучения $I_{\text{м}}$ слабо зависит от времени суток, то, используя (15), (16), можно представить следующие соотношения для многолетних среднесуточных (или среднемесячных) значений интенсивностей излучения в дневное время, $\langle I_{\text{п}} \rangle, \langle I_{\text{м}} \rangle, \langle I_{\text{нл}} \rangle$, Вт/м²:

$$\begin{aligned} \langle I_{\text{п}} \rangle &= \langle I_{\text{м}} \rangle \langle \cos \theta \rangle = \\ &= \langle I_{\text{м}} \rangle \left(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \frac{\sin \omega_s}{\omega_s} \right), \quad (35) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle I_{\text{нл}} \rangle &= \langle I_{\text{м}} \rangle \langle \cos \xi \rangle = \\ &= \langle I_{\text{м}} \rangle [\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \langle \cos \omega \rangle + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta], \quad (36) \end{aligned}$$

где ломанные скобки $\langle \dots \rangle$ обозначают усреднение стоящей в них величины по светлomu времени в сутках (или, аналогично, в месяце), значение $\langle \cos \omega \rangle$ дается выражениями (28), (30), причем входящая в них величина угла склонения δ представляет, соответственно, его среднесуточное или среднемесячное значение. Таким образом, соотношение между средними значениями интенсивности солнечного излучения на горизонтальную и наклонную поверхность получается в виде

$$\begin{aligned} \langle I_{\text{н}} \rangle &= \langle I_{\text{п}} \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + \langle I_{\text{д}} \rangle \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \\ &+ \rho (\langle I_{\text{п}} \rangle + \langle I_{\text{д}} \rangle) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (37) \end{aligned}$$

В соответствии с этим среднесуточный за многолетний период приход солнечной энергии на единицу наклонной поверхности $E_{\text{н}}$, Втч/(м²сут), равен

$$E_{\text{н}} = \langle I_{\text{н}} \rangle \cdot 12 \cdot \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right), \delta \leq 0, \quad (38)$$

$$E_{\text{н}} = \langle I_{\text{н}} \rangle \cdot 12 \cdot \left(\frac{2\omega_c}{\pi} \right), \delta \geq 0, \quad (39)$$

где $12(12\omega_s/\pi)$ или $12(12\omega_c/\pi)$, ч/сут, – число часов в светлое время суток. Соотношение между среднесуточными приходами солнечной энергии на горизонтальную и наклонную поверхности получается в виде

$$\langle E_H \rangle = \langle E_{\Pi} \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + \langle E_{\Delta} \rangle \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho (\langle E_{\Pi} \rangle + \langle E_{\Delta} \rangle) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (40)$$

где E_{Π} и E_{Δ} связаны соответственно с $\langle I_{\Pi} \rangle$ и $\langle I_{\Delta} \rangle$ выражениями типа (38)

Месячные приходы энергии определяются аналогично как произведение соответствующей средней интенсивности солнечного излучения на число дневных часов в месяце.

В работе представлен другой универсальный метод расчета прихода солнечной энергии на наклонную поверхность с использованием эмпирического показателя облачности [5-7,9-13,19].

Теоретическое и методическое определения валового потенциала солнечной энергии региона. Практически важным является также случай ориентации поверхности перпендикулярно потоку прямого солнечного излучения, что достигается посредством использования специальных систем слежения за Солнцем и соответствующего вращения поверхности. В частности, при этом должно соблюдаться равенство угла наклона поверхности к горизонту и зенитного угла Солнца

$$\beta = 0, \quad (41)$$

а суммарная интенсивность солнечного излучения при полной ориентации поверхности определяется зависимостью (42):

$$I_{OP} = I_M + I_{\Delta} \frac{1 + \cos \theta}{2} + \rho (I_{\Pi} + I_{\Delta}) \frac{1 - \cos \theta}{2},$$

где I_M , I_{Π} – интенсивности прямого солнечного излучения, соответствующие выражениям (15), (16). Фактически это обеспечивает максимум прихода солнечной энергии на единицу площади поверхности. Среднесуточное или среднемесячное значение интенсивности солнечного излучения для полностью ориентированной поверхности представляется в виде (43)

$$\langle I_{OP} \rangle = \langle I_M \rangle + \langle I_{\Delta} \rangle \frac{\langle 1 + \cos \theta \rangle}{2} + \rho \left(\langle I_M \rangle (\langle \cos \theta \rangle - \langle \cos^2 \theta \rangle) + \langle I_{\Delta} \rangle \frac{1 - \langle \cos \theta \rangle}{2} \right),$$

Среднегодовое суточное или месячное значение прихода солнечной энергии на

полностью ориентированную поверхность E_{OP} определяется по правилам (38) и равен

$$\langle E_{OP} \rangle = \frac{E_{\Pi}}{\langle \cos \theta \rangle} + E_{\Delta} \frac{1 + \langle \cos \theta \rangle}{2} + \rho \left[E_{\Pi} \left(1 - \frac{\langle \cos^2 \theta \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} \right) + E_{\Delta} \frac{1 - \langle \cos \theta \rangle}{2} \right]. \quad (44)$$

Среднегодовое значение прихода солнечной энергии представляет сумму среднегодовых суточных или месячных приходов. Распределение по Туркменистану средней многолетней годовой суммы приходов энергии прямого солнечного излучения на нормальную к лучу поверхность и наибольшее значение прихода солнечной энергии на единицу поверхности составляет от 6000 до 6800 МДж/м² [5-7,9-13,19].

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. Преобразование солнечной энергии в электрическую является важнейшим направлением в решении энергетических, экономических, экологических и социальных проблем быта населения, промышленности и сельского хозяйства. Представляя получение энергии в наиболее удобной форме, фотоэлектрический способ преобразования солнечной энергии является не только надежным, долговечным и экологически чистым, но и сам может быть использован для улучшения экологической обстановки в месте использования, а в перспективе – и для регулирования экологических условий на больших территориях.

В настоящее время в качестве физической основы фотоэлектрического преобразования солнечной энергии принимается фотовольтаический эффект в полупроводниках, хотя существуют и развиваются и другие так называемые методы преобразования солнечной энергии в электрическую: термоэлектрический, термофотоэлектрический, фотоэлектрохимический и т.д., которые, однако, не получили широкого практического использования [4, 8,9,11,13,17,19].

Методика определения валового потенциала солнечной энергии зоны. В зависимости от объема и характера информации расчета валового потенциала солнечной энергии проводится по двум следующим вариантам.

1. В зоне расположена метеорологическая станция. Если имеются метеоданные по среднегодовому приходу солнечной

энергии в каждый месяц года $E_i = E_{Pi} + E_{Di}$, то расчет производится по формулам:

$$E = \sum_i E_i; \text{ при } i = 1, 2, \dots, 12, \quad (45)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году. Валовой потенциал зоны равен:

$$W_B = E \cdot S \quad (46)$$

Значения E_i , E_{Pi} и E_{Di} (для $i=1, 2, \dots, 12$), E и W_B заносятся в таблицу. Кроме того, в таблицу заносятся (если имеются) метеоданные по среднеквадратичному разбросу прихода солнечной энергии (в абсолютных значениях или процентах).

В зоне отсутствует метеорологическая станция. Если отсутствуют метеоданные по приходу солнечной энергии, но по данным соседних метеорологических станций можно найти средние значения продолжительности солнечного сияния t_{Ci} для каждого месяца, то расчет месячного прихода солнечной энергии производится по формулам:

$$E_i = E_{Oi} \left(a_i + b_i \frac{t_{Ci}}{t_{Oi}} \right), \quad (47)$$

где a_i , b_i – эмпирические коэффициенты ($a_i + b_i = 1$), рассчитанные для 144 трапеции территории бывшего СССР на каждый месяц;

$$E_{Oi} = \langle I_M \rangle \langle \cos \theta \rangle t_{Oi}, \quad (48)$$

$$\langle I_M \rangle = 1000 \left(\frac{1000}{1360} \right)^{M-1} \text{ Вт/м}^2, \quad (49)$$

$$\langle \cos \theta \rangle = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\sin \omega_s}{\omega_s}, \quad (50)$$

$$M = \frac{2}{\sqrt{\langle \cos \theta \rangle^2 + 0.06 + \langle \cos \theta \rangle}}, \quad (51)$$

δ и ω_s , рад., – средний угол солнечного склонения (табл. 1) и угол восхода – захода (12) в i -й месяц соответственно;

$$t_{Oi} = 12 \cdot n_i \cdot \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right), \text{ ч/мес.}, \quad (52)$$

где n_i – число дней в i -м месяце [4, 8, 9, 11, 13, 17-19].

Теоретическое и методическое определения технического потенциала солнечной энергии региона.

Определения и обозначения. Технический потенциал солнечной энергии региона

– это среднееголетняя суммарная энергия, которая может быть получена в регионе от солнечного излучения в течение одного года при современном уровне развития науки и техники и соблюдении экологических норм.

Технический потенциал солнечной энергии представляет сумму технических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Технический потенциал региона представляет сумму технических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие обозначения:

W_T , кВт·ч/год, – технический потенциал солнечной энергии;

W_{TT} , кВт·ч/год, – технический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения;

W_{TF} , кВт·ч/год, – технический потенциал электроэнергии от солнечного излучения:

$$W_T = W_{TT} + W_{TF}; \quad (53)$$

S_C , м², – площадь, которая по хозяйственным и экологическим соображениям представляется целесообразной для использования солнечной энергии; она равна части q общей площади S , остающийся после вычитания площадей лесов, парков, сельскохозяйственных угодий и других территорий, на которых размещение установок затруднено или запрещено:

$$S_c = qS, \quad (54)$$

k_T – доля площади S_C , целесообразная для установки солнечных тепловых коллекторов; k_ϕ – доля площади S_C , целесообразная для установки солнечных фотоэлектрических батарей:

$$k_T + k_\phi = 1. \quad (55)$$

Значения q , k_T , k_ϕ являются специфическими для каждой зоны. В то же время на основе опыта некоторых промышленно развитых стран можно сделать оценку: $q \leq 0,01$; на основе существующего соотношения между используемой тепловой энергией и электроэнергией в большинстве регионов можно указать примерное соотношение: $k_T \approx 0,9$, $k_\phi \approx 0,1$

T_{Oi} , К, – среднемесячная температура окружающей среды в дневное время (время работы установок) [4, 8, 9, 11, 13, 17, 19].

Методика определения технического потенциала электроэнергии от солнечного излучения. Расчет технического потен-

циала электроэнергии производится по формуле:

$$W_{T\Phi} = \sum_i W_{T\Phi i} \quad (56)$$

где технический потенциал i -го месяца равен:

$$W_{T\Phi} = E_i \cdot k_{\phi} \cdot q \cdot S \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi(T_i - T_1)] \quad (57)$$

среднемесячная температура фотопреобразователей T_p , К, равна:

$$T_i = \frac{\frac{E_i}{t_{Ci}} \cdot [\alpha - \eta_1 \cdot (1 + \chi \cdot T_1)] + \langle \lambda \rangle \cdot T_{O_i}}{\langle \lambda \rangle - \frac{E_i}{t_{Ci}} \cdot \eta_1 \cdot \chi} \quad (59)$$

Порядок расчета. Фиксируются исходные данные: $k_{\phi} = 1 - k_T$ и следующие значения параметров фотоэлектрических солнечных батарей, характеризующие современный технический уровень:

$$A = 0,97; \eta_1 = 0,13; \chi = 0,004 \text{ K}^{-1};$$

$$T_1 = 289 \text{ K}; \langle \lambda \rangle = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Рассчитывается среднемесячная температура T_i (49) с использованием значений E_p , полученных из справочника. Рассчитываются технический потенциал i -го месяца $W_{T\Phi i}$ (57). Суммированием по всем месяцам определяется потенциал $W_{T\Phi}$ (56). Значения T_i , $W_{T\Phi i}$, $W_{T\Phi}$ вносятся в таблицу 18.

Расчет технического потенциала солнечной энергии региона. В отдельную таблицу вносятся месячные значения технического потенциала, $W_{Ti} = W_{T\Phi i} + W_{T\Gamma i}$ ($i=1, 2, \dots, 12$), а также итоговое значение технического потенциала солнечной энергии зоны, W_T . После проведения расчета технического потенциала каждой зоны в соответствии с выше указанным разделом технический потенциал региона рассчитывается как сумма технических потенциалов его зон [4, 8, 9, 11, 13, 17-19].

Теоретическое и методическое определение экономического потенциала солнечной энергии в энергоэффективности. *Определения и обозначения.* Экономический потенциал солнечной энергии региона – это величина годовой выработки тепловой и электрической энергии в регионе от солнечного излучения, получение которой экономически оправдано для региона при существующем уровне цен на энергии, получаемую от традиционных источников, и соблюдении экологических норм.

Экологический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Экономический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие обозначения:

$W_{\mathcal{E}}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал солнечной энергии;

$W_{\mathcal{E}T}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения;

$W_{\mathcal{E}\Phi}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал электроэнергии от солнечного излучения:

$$W_{\mathcal{E}} = W_{\mathcal{E}T} + W_{\mathcal{E}\Phi}; \quad (60)$$

T_{OK} , год, – срок окупаемости солнечной энергетической установки;

$T_{CЛ}$, год, – срок службы солнечной энергетической установки;

\mathcal{E} , ман, – экономический эффект использования солнечных энергетических установок;

\mathcal{E}_T , ман, – экономический эффект использования солнечных тепловых коллекторов;

\mathcal{E}_{Φ} , ман, – экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок;

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_{\Phi} \quad (61)$$

T_O , К, – среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных установок);

T_{Op} , К, – среднемесячная температура окружающей среды в течении i -го месяца, в дневное время (время работы солнечных установок);

C , ман./м² или долл./м², – удельная стоимость солнечной установки;

$r_{\mathcal{E}}$ – региональный экологический фактор источника солнечной энергии;

$r_{T\mathcal{E}}$ – региональный экологический фактор традиционного источника энергии;

C_p , ман./кВт·ч или долл./кВт·ч – удельная стоимость производства энергии от традиционного источника;

r_p – региональный фактор стоимости энергии от традиционного источника;

Q_p , кВт·ч/год, – годовой дефицит энергии в регионе или годовая дополнительная

потребность промышленного производства в энергии;

C_{Π} , ман./кВт·ч, – удельная цена потерь от недостатка энергии или удельная стоимость ценностей, производимых промышленностью;

m , кг/(чел.·сут.) – суточная норма потребления горячей воды на одного человека в быту;

p , Вт/чел., – норма средней электрической мощности на одного человека, необходимая для удовлетворения основных потребностей в бытовых потребностей.

Выражения для определения экономического потенциала электроэнергии от солнечного излучения [4-9,11-13,17,19].

Расчет экономического потенциала электроэнергии производится по формуле:

$$W_{\text{ЭФ}} = \sum_i W_{\text{ЭФ}i} \quad i = 1, 2, \dots, 12, \quad (62)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражениями:

$$W_{\text{ЭФ}i} = V_{\text{Ф}i} \cdot S_{\text{ЭФ}} \quad (63)$$

где

$$V_{\text{Ф}i} = E_{\text{Ф}i} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot (T_i - T_1)] \quad (64)$$

$V_{\text{Ф}i}$, кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в i -й месяц;

$E_{\text{Ф}i}$, кВт·ч/(м²·мес.), – среднемноголетний приход солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в i -й месяц года;

$S_{\text{ЭФ}}$, м², – экономически целесообразная площадь установленных солнечных батарей.

Определение экономического потенциала проводится в двух вариантах, включающих использование либо плоских фотоэлектрических солнечных батарей либо солнечных батарей с концентраторами излучения.

В первом варианте определение потенциала проводится при условии, что солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β .

При этом

$$E_{\text{Ф}i} = E_{\text{Н}i} = E_{\text{П}i} \frac{\omega_m}{\omega_s} \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + E_{\text{Д}i} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(E_{\text{П}i} + E_{\text{Д}i}) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (65)$$

$E_{\text{П}i}$ и $E_{\text{Д}i}$, а также $\langle \cos \theta \rangle$, находятся выше в разделе.

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \frac{\sin \omega_m}{\omega_m} + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta,$$

причем, в полученной формуле 66, для каждого месяца принимается значение $\beta = \varphi - \delta$.

Во втором варианте определения потенциала проводится при условии, что солнечные батареи полностью ориентированы на Солнце. При этом

$$E_{\text{Ф}i} = \frac{E_{\text{П}i}}{\langle \cos \theta \rangle} + \frac{E_{\text{Д}i}}{K}, \quad (67)$$

где K – коэффициент концентрации солнечного излучения.

Экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок. Расчет экономического эффекта солнечных тепловых установок производится по формуле:

$$\text{Э}_{\Phi} = \sum_i \text{Э}_{\Phi i} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (68)$$

где суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический эффект i -го месяца определяется выражениями:

$$\text{Э}_{\Phi i} = T_{\text{СЛ}} [(W_{\text{ЭК}i} - Q_{\text{ПФ}i}) C_{\text{ТРЭ}} - I_{\text{ЭК}i}] - K_{\text{Ф}i} + T_{\text{СЛ}} \cdot Q_{\text{ПФ}i} \cdot C_{\text{П}}, \quad (69)$$

где $K_{\text{Ф}i}$, ман./мес., – капитальные затраты, отнесенные к i -му месяцу:

$$\sum_i K_{\text{Ф}i} = r_{\text{э}} \cdot C \cdot S_{\text{ЭФ}} \quad (70)$$

$I_{\text{ЭК}i}$ ман./мес. или долл./мес., – месячные издержки эксплуатации фотоэлектрических установок:

$$I_{\text{ЭК}i} = \gamma \cdot K_{\text{Ф}i} \quad (71)$$

где γ , 1/год, – норма издержек эксплуатации;

$Q_{\text{ПФ}i}$, кВт·ч/мес., – дефицит, или потребность промышленности в электроэнергии в i -й месяц.

После подстановки приведенных выражений в (67) и суммирования по месяцам получаем величину экономического эффекта в виде:

$$\text{Э}_{\Phi} = T_{\text{СЛ}} (W_{\text{ЭФ}} - S_{\text{ЭТ}} V_{\text{ФКР}}) C_{\text{ТРЭ}} + T_{\text{СЛ}} Q_{\text{ПФ}} (C_{\text{П}} - C_{\text{ТРЭ}}), \quad (72)$$

где $W_{\text{ЭФ}}$, кВт·ч/год, – экономический потенциал электроэнергии,

$$W_{\text{ЭФ}} = V_{\Phi} S_{\text{ЭФ}}, \quad (73)$$

$$V_{\phi_i} = E_{\phi} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot ((T) - T_1)] \quad (74)$$

V_{ϕ} , кВт·ч/(м²·год), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в год;

E_{ϕ} , кВт·ч/(м²·год), – среднееголетний приход солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в год:

$$E_{\phi} = \sum_i E_{\phi_i} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (75)$$

$V_{\phi_{кр}}$, кВт·ч/(м²·год), – критическое значение удельной энергии возобновляемого источника, в частности, фотоэлектрической солнечной батареи, определяющее область экономической целесообразности его использования:

$$V_{\phi_{кр}} = (1 + \gamma \cdot T_{сл}) \cdot r_{\varepsilon} \cdot \frac{C}{T_{сл} \cdot \Pi_{трэ}}, \quad (76)$$

Срок окупаемости установки приобретает выражение:

$$T_{ок} = r_{\varepsilon} \cdot \frac{C}{V_{\phi} \cdot \Pi_{трэ} - \gamma \cdot r_{\varepsilon} \cdot C}. \quad (77)$$

Методика определения экономического потенциала электрической энергии от солнечного излучения [12-19].

В соответствии с определением, экономический потенциал электрической энергии от солнечного излучения в регионе $W_{\varepsilon\phi}$, кВт·ч/год, представляет энергию, которая может быть выработана в год соответствующими солнечными энергетическими установками при условии, что их экономический эффект положителен:

$$\varepsilon_{\phi} > 0 \quad (78)$$

При анализе выполнимости этого условия возможны два варианта [4-13, 17, 19].

Вариант I. Если срок службы фотоэлектрической солнечной установки больше или равен сроку ее окупаемости,

$$T_{сл} \geq T_{ок}, \quad (79)$$

т. е., если удельная выработка энергии тепловым коллектором больше ее критического значения,

$$V_{\phi} \geq V_{\phi_{кр}} \quad (80)$$

то в силу обычного условия

$$\Pi_{п} > \Pi_{трэ} \quad (81)$$

экономический эффект использования установок является положительным при любой

их площади. Это означает, что в данном случае целесообразно использовать максимально возможную площадь фотоэлектрических солнечных батарей, так что экономический потенциал электрической энергии от солнечного излучения оказывается совпадающим с техническим потенциалом, представленным в разделе выше:

$$W_{\varepsilon\phi} = W_{т\phi}, \quad (82)$$

Вариант II. Рассмотрим случай, когда срок службы установки меньше срока ее окупаемости

$$T_{сл} < T_{ок}, \quad (83)$$

т.е. удельная выработка энергии тепловым коллектором меньше ее критического значения,

$$V_{\phi} < V_{\phi_{кр}}, \quad (84)$$

то выполнение условия эффективности (67) соответствует следующему ограничению на полную мощность фотоэлектрических систем:

$$S_{\varepsilon\phi} (V_{\phi_{кр}} - V_{\phi}) \Pi_{трэ} < Q_{п\phi} (\Pi_{п} - \Pi_{трэ}), \quad (85)$$

и одновременно,

$$W_{\varepsilon\phi} > Q_{п\phi}, \quad (86)$$

При этом, если срок службы близок к сроку окупаемости, точнее, если

$$T_{ок} - T_{сл} \leq T_{сл} \cdot Q_{п\phi} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{W_{т\phi}}, \quad (87)$$

т.е.

$$V_{\phi_{кр}} \geq V_{\phi} \geq \frac{V_{\phi_{кр}}}{1 + \frac{Q_{п\phi}}{W_{т\phi}} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right)} \quad (88)$$

то экономический потенциал, как в варианте I, равен техническому потенциалу:

$$W_{\varepsilon\phi} = W_{т\phi} \quad (89)$$

В области выполнения условия

$$V_{\phi} \leq \frac{V_{\phi_{кр}}}{1 + \frac{Q_{п\phi}}{W_{т\phi}} \cdot \left(\frac{\Pi_{п}}{\Pi_{трэ}} - 1 \right)}, \quad (90)$$

и одновременно условия (75), т.е.

$$V_{\phi} \geq \frac{V_{\phi_{кр}} \cdot \Pi_{трэ}}{\Pi_{п}}, \quad (91)$$

экономический потенциал тепловой солнечной энергии равен:

$$W_{\text{ЭФ}} = \frac{Q_{\text{ПФ}} \cdot \left(\frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{ТРЭ}}} - 1 \right)}{\frac{V_{\text{ФКР}}}{V_{\text{Ф}}} - 1}, \quad (92)$$

Наконец, в области

$$V_{\text{Ф}} \leq \frac{V_{\text{ФКР}} \cdot C_{\text{ТРЭ}}}{C_{\text{П}}}, \quad (93)$$

Экономический потенциал равен нулю,

$$W_{\text{ЭФ}} = 0 \quad (94)$$

Условие (93) означает, что стоимость энергии, производимой солнечной фотоэлектрической установкой, настолько большая, что создаваемые с ее помощью товары промышленного производства по стоимости не покрывают расходов на электроэнергию, т.е. использование установки не целесообразно.

В различных зонах региона для солнечных фотоэлектрических установок даже одного типа могут выполняться различные условия определения экономического потенциала, что в значительной мере зависит от климатических условий. Соответственно этому значения экономических потенциалов зон определяется формулами (82), (92) или (94).

Таким образом, экономический потенциал экономической энергии от солнечного излучения в регионе $W_{\text{ЭФ}}$ имеет растущую зависимость от величины годового объема энергии, снимаемой с единицы поверхности солнечной батареи $V_{\text{Ф}}$, определяющуюся, как в случае теплового использования тремя параметрами: критическим значением удельного съема энергии $V_{\text{ФКР}}$ – формула (88), экономическим параметром потребности промышленности региона в энергии $Q_{\text{ПФ}} / W_{\text{ТФ}}$ и ценовым параметром промышленного производства, $C_{\text{П}} / C_{\text{ТРЭ}}$. Характерный вид этой зависимости представлен на рисунке 4 для экономического потенциала солнечной тепловой энергии.

Общая потребность региона в электрической энергии $Q_{\text{Ф}}$, кВт·ч/год, представляет сумму потребностей производства $Q_{\text{ПФ}}$, кВт·ч/год и бытовой потребности населения $Q_{\text{БФ}}$, кВт·ч/год:

$$Q_{\text{Ф}} = Q_{\text{ПФ}} + Q_{\text{БФ}} \quad (95)$$

$$Q_{\text{БФ}} = \rho N_{\text{Ф}} \quad (96)$$

где ρ , Вт/чел., – средняя норма потребления электроэнергии одним человеком в

быту (освещение, радио, телефон, водоснабжение, бытовые электроинструменты; $\rho = 120$ Вт/чел.); $N_{\text{Ф}}$ – число людей в регионе, нуждающихся в обеспечении быта электроэнергией, средняя требуемая площадь солнечных батарей на одного человека $s_{\text{Ф}}$, м²/чел., оказывается равной:

$$s_{\text{Ф}} = \frac{\rho}{I_{\text{Ф}} \cdot \eta_1 \cdot [1 - \chi \cdot (\langle T \rangle - T_1)]}, \quad (97)$$

где $I_{\text{Ф}}$, Вт/м², – среднегодовая интенсивность освещения солнечных батарей,

$$I_{\text{Ф}} = E_{\text{Ф}} / 8.76 \quad (98)$$

$\langle T \rangle$, К, – среднегодовая рабочая температура фотопреобразователей:

$$\langle T \rangle = \frac{\left(\frac{E}{t_c} \right) \cdot [\alpha - \eta_1 \cdot (1 + \chi \cdot T_1)] + \langle \lambda \rangle \cdot \langle T_o \rangle}{\langle \lambda \rangle - \frac{E}{t_c} \cdot \eta_1 \cdot \chi}, \quad (99)$$

$\langle T_o \rangle$, К, – среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных батарей).

Аналогично случаю с тепловыми коллекторами можно ввести понятие избытка экономического потенциала электрической энергии от солнечного излучения в регионе, $\Delta W_{\text{ЭФ}}$, представляющего разницу между экономическим потенциалом и общей потребностью региона в электрической энергии:

$$\Delta W_{\text{ЭФ}} = W_{\text{ЭФ}} - Q_{\text{Ф}} \quad (100)$$

Если $\Delta W_{\text{ЭФ}} > 0$, то регион является экономически обоснованным потенциальным донором электрической энергии; если $\Delta W_{\text{ЭФ}} < 0$, то регион является потенциально дефицитным по электрической энергии.

Расчеты по вариантам ориентации солнечных батарей и концентрации солнечного излучения.

1. Плоские солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β . Фиксируются исходные данные характеризующие технический уровень, стоимость установки $C = 1000$ долл./м²; срок службы $T_{\text{СЛ}}$; значения удельных параметров: $C_{\text{П}}$, $C_{\text{Т}}$, $I_{\text{ЭК}}$; факторы стоимости: $r_{\text{П}}$, $r_{\text{Э}}$, $r_{\text{ТЭ}}$; потребности промышленности в тепловой энергии $Q_{\text{ПФ}_i}$ ($i=1, 2, \dots, 12$); число нуждающихся людей $N_{\text{Ф}}$.

С использованием значений параметров прихода солнечной энергии, рабочей температуры фотопреобразователей и температу-

ры окружающей среды, полученных в предыдущих разделах, последовательно рассчитываются V_{ϕ_i} (64) для $i = 1, 2, \dots, 12$; V_{ϕ} (74) и $V_{\phi_{кр}}$ (75).

Анализом условий (81), (89), (91), (92), (94) определяется область определения экономического потенциала. Рассчитывается значение потенциала $W_{\text{эф}}$.

Рассчитываются $Q_{\text{БФ}}$ и $Q_{\text{Ф}}$ (98) и (97), и избыток потенциала $\Delta W_{\text{ЭТ}}$ (100).

II. Солнечные батареи с концентраторами излучения полностью ориентированы на Солнце. Исходные значения такие же как и по варианту I за исключением стоимости солнечной установки C , которая, в соответствии с практическими данными, для варианта II принимается равной $C/3$ при значении $K=13$, и температурного коэффициента КПД, который теоретически и практически оказывается меньше и принимается равным $\chi = 0,003 \text{ K}^{-1}$

После проведения расчетов E_{ϕ_i} (64) для $i=1,2,\dots,12$ и суммирования с получением годового прихода энергии E_{ϕ} остальные расчеты проводятся в том же порядке, как и по варианту I [4, 8,9-11,13-17,19].

Расчет экономического потенциала солнечной энергии региона. Сравнением значением экономического потенциала по представленным двум вариантам ориентации солнечных батарей и концентрации солнечного излучения выбирается наибольшее значение, которое принимается как экономический потенциал электроэнергии зоны $W_{\text{эф}}$ от солнечного излучения. Экономический потенциал солнечной энергии получается суммирование потенциалов тепловой и электрической энергии:

$$W_{\text{э}} = W_{\text{ЭТ}} + W_{\text{эф}} \quad (101)$$

После проведения расчета экономического потенциала каждой зоны экономический потенциал региона рассчитывается как сумма экономических потенциалов зон. Обобщенные результаты теоретических и методических расчетов приведены таблице 18.

5. Практические результаты расчетов солнечно-энергетических ресурсов Туркменистана

Валовый потенциал солнечной энергии. В соответствии с определением валового потенциала по формуле необходимо получение данных по месячному приходу солнечной энергии на горизонтальную поверхность E_i ($i=1, 2, \dots, 12$).

Рассчитанные и приведенные в таблице 18 значения E_i относятся к наиболее солнечным семи месяцам с $i = 3 - 9$. Для расчета прихода солнечной энергии в другие месяцы $i = 1, 2, 10, 11, 12$ целесообразно использовать данные по месячному приходу энергии на наклонную поверхность, в соответствии с методики.

Средний параметр угла наклона прямого солнечного излучения к нормали $\langle \cos \theta \rangle$ и месячный приход прямой солнечной энергии на нормально ориентированную поверхность

$$E_{\text{Ор}i} = \frac{E_{\text{П}i}}{\langle \cos \theta \rangle} = \frac{(1-\varepsilon)E_i}{\langle \cos \theta \rangle} = 2065,611 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{мес.}), \quad (102)$$

за 10 часов (с 7 до 17 ч) представлены в табл. 1.

Суммарное поступление солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в год за 10 часов в сутки (7-17 ч), E , оказывается равным

$$E = \sum_i E_i = 1895,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}), \quad (103)$$

а валовый потенциал Юго-восточной территории равен

$$W_{\text{В}} = ES = 1895,9 \cdot S \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (104)$$

где S , м^2 , – площадь.

Технический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения. Исходные данные: температура горячей воды $T = 60^\circ\text{C}$; значение параметров солнечных тепловых коллекторов, характеризующие современный технический уровень: $F(\tau\alpha)=0,9$; $FU_L=0,005 \text{ кВт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$; экспериментально определенные среднемесячные температуры $T_{\text{О}i}$ и углы склонения δ для $i=2, 3, \dots, 10$ (таблица 18).

Рассчитанные значения продолжительности солнечного сияния в течение i -го месяца $t_{\text{С}i}$, ч/мес., число ясных и полупасмурных часов, продолжительность рабочего времени $t_{\text{р}i}$, ч/мес., а также месячных потенциалов, приходящихся на единицу отводимой площади в течение рабочего времени (с 7 до 17 ч),

$$\frac{W_{\text{Т}i}}{S_{\text{Т}}} = E_i F \left[(\tau\alpha) - U_L (T - T_{\text{О}i}) \cos(\varphi - \delta) \frac{t_{\text{р}i}}{E_i} \right] = 1296,779 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \quad (105)$$

где $S_{\text{Т}} = k_t q S$ – площадь, отводимая под солнечные тепловые установки, полученных с

использованием значений E_i (таблице 18), приведены в таблице 18 для наиболее солнечных месяцев года.

В осенне-зимние месяцы (октябрь–февраль) использование коллекторов с представленными техническими параметрами для получения горячей воды с температурой $T_r = 60^\circ\text{C}$, т.е. соответствующие W_{TT} равны нулю.

Суммирование по всем месяцам определяется потенциал солнечной тепловой энергии W_{TT} за 10 часов в сутки (7-17 ч):

$$W_{TT} = 1296,779 S_T, \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}, \quad (106),$$

где S_T , м^2 , – площадь, отводимая под солнечные тепловые установки.

Технический потенциал электроэнергетики от солнечного излучения. Исходные данные: $k_\phi = 1 - k_T$; значения параметров фотоэлектрических солнечных батарей, характеризующие современный технический уровень: $\alpha = 0,97$; $\eta_1 = 0,13$; $\chi = 0,004 \text{ К}^{-1}$; $T_1 = 298 \text{ К}$; $\langle \lambda \rangle = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Рассчитанные значения среднемесячной рабочей температуры T_i ,

$$T_i = \frac{\frac{E_i}{t_{Pi}} [\alpha - \eta_1 (1 + \chi T_1)] + \langle \lambda \rangle T_{O_i}}{\langle \lambda \rangle - \frac{E_i}{t_{Pi}} \eta_1 \chi}, \quad (107)$$

с использованием значений T_{O_i} , E_i представлены в таблице 18. Рассчитанные значения месячных технических потенциалов, приходящихся на единицу отводимой площади,

$$\begin{aligned} \frac{W_{T\Phi_i}}{S_\phi} &= E_i \eta_1 [1 - \chi (T_i - T_1)] = \\ &= 248,5547 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год} \end{aligned} \quad (108)$$

где $S_\phi = k_\phi \cdot q \cdot S$, м^2 , – площадь, отводимая под солнечные фотоэлектрические установки, приведенные в табл.

Суммированием по всем определяется потенциал $W_{T\Phi}$:

$$W_{T\Phi} = 248,5547 S_\phi, \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}, \quad (109)$$

Технический потенциал солнечной энергии. Значение технического потенциала солнечной энергии равно (110):

$$\begin{aligned} W_T &= W_{TT} + W_{T\Phi} = \\ &= 1296,779 S_T + 248,5547 S_\phi = \\ &= [1296,779 k_T + 248,5547 (1 - k_T)] q S, \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}. \end{aligned}$$

Следует отметить, что W_{TT} представляет энергию в форме тепла, а $W_{T\Phi}$ – энергию в электрической форме.

Экономического потенциала солнечной энергии. Экономический потенциал солнечной энергии региона – это величина годовой выработки тепловой и электрической энергии в регионе от солнечного излучения, получение которой экономически оправдано для региона при существующем уровне цен на энергию, получаемую от традиционных источников, и соблюдении экологических норм.

Экономический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон. Для каждой зоны используются следующие данные:

– экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения; экономический потенциал электроэнергии от солнечного излучения: срок окупаемости солнечной энергетической установки; срок службы солнечной энергетической установки; экономический эффект использования солнечных энергетических установок; экономический эффект использования солнечных тепловых коллекторов; экономический эффект использования солнечных фотоэлектрических установок; среднегодовая температура окружающей среды в дневное время (время работы солнечных установок);

– среднемесячная температура окружающей среды в течение i -го месяца, в дневное время (время работы солнечных установок); удельная стоимость солнечной установки; региональный экологический фактор источника солнечной энергии; региональный экологический фактор традиционного источника энергии; удельная стоимость производства энергии от традиционного источника; региональный фактор стоимости энергии от традиционного источника; годовой дефицит энергии в регионе или годовая дополнительная потребность промышленного производства в энергии; удельная ценапотерь от недостатка энергии или удельная стоимость ценностей, производимых промышленностью; суточная норма потребления горячей воды на одного человека в быту; норма средней электрической мощности на одного человека, необходимой для удовлетворения основных бытовых потребностей [4- 8,9,11-13,17-19].

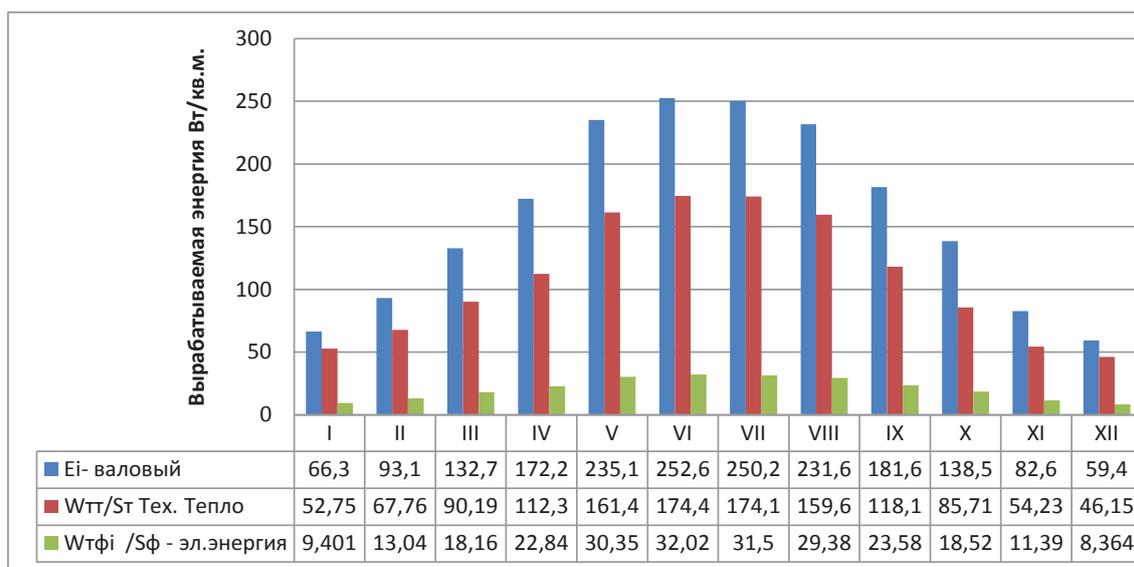


Рис. 5. Распределения валового и технического потенциалов солнечной энергии от преобразования в тепловую энергию и электрическую на Юго-Восточных Каркумах по месяцам на 1 метр квадратный

Определение экономического потенциала проводится при условии, что солнечные тепловые коллекторы стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту β . Расчет экономического потенциала тепловой энергии проводится по формуле

$$W_{ЭТ} = \sum_i W_{ЭТi} \quad i=1, 2, \dots, 12, \quad (111),$$

где $i = 1, 2, \dots, 12$, суммирование производится по всем месяцам в году.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражениями:

$$W_{ЭТi} = V_{Ti} \cdot S_{ЭТ} \quad (112)$$

где

$$V_{Ti} = E_{Hi} \cdot F \left[(\tau\alpha) - U_L(T - T_{Oi}) \frac{t_{Ci}}{E_{Hi}} \right] = 1378,102 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}). \quad (113)$$

$V_{Tр}$ кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади теплового коллектора в i -й месяц; $S_{ЭТ}$ м², – экономически целесообразная установленная площадь тепловых коллекторов. V_{Ti} – объем выработки энергии единицей площади теплового коллектора в i -й месяц, кВт · ч/(м²·мес.); E_{Hi} – суммарный месячный приход солнечной энергии, кВт·ч/(м²·мес.); $F(\tau\alpha) = 0,9$; $FUL = 0,005$ – значение параметров солнечных тепловых коллекторов, характеризующих современный технический уровень, кВт/(м·°C); T_{Oi} – среднемесячная температу-

ра окружающей среды в течение i -го месяца в дневное время (время работы солнечных установок), К; t_{Ci} – эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной местности в течение i -ого месяца, ч/мес.; $S_{ЭТ}$ – экономически целесообразная установленная площадь тепловых коллекторов, м².

Основная проблема широкого использования солнечных тепловых установок связана с их экономической эффективностью и конкурентоспособностью по сравнению с традиционными системами, что определяется более высокой стоимостью энергии, вырабатываемой солнечными установками, чем получаемой при использовании традиционных установок. Срок окупаемости солнечной тепловой установки при различных сроках службы солнечных коллекторов в зависимости от изготовителя их в России и зарубежных странах представлены ниже.

Срок окупаемости установки горячего водоснабжения равен:

- при стоимости 200-500 долл. США 1,04–2,8 года (российского производства);
- при стоимости 500-1000 долл. США 2,80–6,6 года (производства зарубежных фирм).

Срок окупаемости системы отопления и горячего водоснабжения равен:

- при стоимости 600-1200 долл. США 3,5–8,4 года (российского производства);
- при стоимости 1500-2000 долл. США 11,8–19,5 года (производства зарубежных фирм).

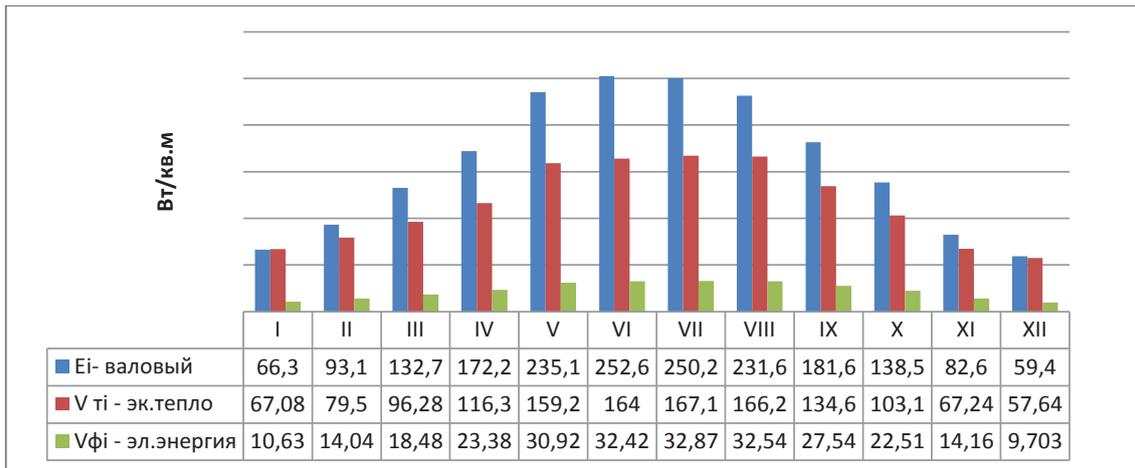


Рис. 6. Средние удельные энергетические параметры солнечной тепловой V_t , фотоэлектрической V_f установки в Туркменистане в течение года

Определение экономического потенциала тепловой энергии от солнечного излучения. В соответствии с определением экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения в региона $W_{ЭТ}$, кВт·ч/год, представляет энергию, которая может быть выработана в год соответствующими солнечными энергетическими установками при условии, что их экономический эффект положителен, она равна 588,56 кВт·ч/год при КПД 0,5.

В различных зонах региона для солнечных энергетических установок даже одного типа могут выполняться различные условия определения экономического потенциала, что в значительной мере зависит от климатических условий [4-13].

Таким образом, экономический потенциал тепловой энергии от солнечного излучения в регионе $W_{ЭТ}$ имеет растущую зависимость от величины годового объема энергии, снимаемой с единицы поверхности теплового коллектора, определяющуюся тремя параметрами: критическим значением удельного съема энергии, экономическим параметром потребности промышленности региона в энергии и ценовым параметром промышленного производства. Данная зависимость в действительности является единой для любого нового источника энергии, замещающего традиционное топливо, в том числе как для тепловой энергии, так и для электрической энергии от солнечного излучения.

Определение экономического потенциала электроэнергии от солнечного излучения. Расчет экономического потенциала

электроэнергии производится аналогично как и в вышеизложенном варианте.

Экономический потенциал i -го месяца определяется выражением:

$$W_{Эfi} = V_{fi} \cdot S_{Эф} \quad (114)$$

где V_{fi} , кВт·ч/(м²·мес.), – объем выработки энергии единицей площади солнечной батареи в i -й месяц равен 248,5 кВт·ч/(м²·год); E_{fi} , кВт·ч/(м²·мес.), – среднегодовое количество прихода солнечной энергии на единицу поверхности солнечной батареи в i -й месяц года равен 1895,9 кВт·ч/(м²·год); $S_{Эф}$, м², – экономически целесообразная площадь установленных солнечных батарей.

Экономический потенциал солнечной энергии получается путем суммирования потенциалов тепловой и электрической энергии:

$$W_{ЭТ} = W_{ЭТ} + W_{ЭТ} = 1296,44S_T + 248,5S_{Эф}. \quad (115)$$

В результате определение потенциала проводится при условии, что солнечные батареи стационарно ориентированы под углом наклона к горизонту $\beta = 30, 45, 60, 75, 90$.

При этом

$$E_{\phi i} = E_{\pi i} = E_{\pi i} \frac{\omega_m \langle \cos \xi \rangle}{\omega_s \langle \cos \theta \rangle} + E_{\text{ди}} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(E_{\pi i} + E_{\text{ди}}) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (116)$$

$E_{\pi i}$ и $E_{\text{ди}}$, а также $\langle \cos \theta \rangle$, где $\langle \cos \theta \rangle$ – средний параметр угла наклона прихода прямого солнечного излучения на нор-

мально ориентированную поверхность; $\langle \cos \xi \rangle$ – угловой параметр, находится по формуле (117):

$$\langle \cos \xi \rangle = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \frac{\sin \omega_m}{\omega_m} + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta,$$

причем для каждого месяца принимается значение $\beta = \varphi - \delta$; $E_{\Pi i}$ – среднееголетний приход прямого потока солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года, кВт·ч/(м²·мес.); $E_{\text{д}i}$ – среднееголетний приход рассеянной солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности в i -й месяц года, кВт·ч/(м²·мес.); ρ – коэффициент отражения (альбедо); θ – угол между направлениями зенита и Солнца (угол падения на горизонтальную поверхность); ξ – угол между направлением на Солнце и нормалью к наклонной поверхности (угол падения на наклонную поверхность), ориентированной на юг; δ – угол склонения, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора; φ – широта местности; ω – часовой угол движения Солнца, равный 0 в солнечный полдень; каждый час времени t соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными; β – угол наклона к горизонту.

Определение оптимального угла наклона солнечных модулей в юго-восточных районах Туркменистана. В таблице 1-3 представлены значения параметра пересчета интенсивности прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность $I_{\text{Н1}}/I_{\text{П}} = \cos \xi / \cos \theta$ в зависимости от часового угла солнца ω и угла склонения δ при различных углах наклона β для северной широты $\varphi = 45^\circ$, т.е. примерно для средней широты Туркменистана.

Результаты расчета для определения оптимального угла наклона солнечных модулей в Юго-восточных Каракумах с учетом реального поступления солнечной энергии включает определение полного потока солнечной энергии на наклонную поверхность в течение определенного периода времени (например, за месяц) при различных углах наклона посредством интегрирования по времени. Расчеты показывают наиболее эффективное значение $\beta = 60^\circ$ для января, февраля, ноября, декабря; $\beta = 30^\circ$ с апреля по сентябрь; $\beta = 45^\circ$ – март, октябрь [3].

Экологический потенциал от преобразования солнечной энергии в электриче-

скую. Экологический потенциал ВИЭ – часть технического потенциала, преобразование, которого в полезную используемую энергию экологической целесообразно при данном уровне сокращения вредных выбросов в окружающую среду от ископаемого, органического топлива при преобразовании тепловую, электрическую энергию и других видов энергии от оборудования, установок, станции и транспортных средств и др. загрязнителей.

В выражениях, определяющих экономическую эффективность, не учитывается влияние вводимых установок на окружающую природу, на социальные условия жизни и деятельности человека, что в целом определяется как экологические условия. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключенным в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

Экологический потенциал солнечной энергии представляет сумму экономических потенциалов тепловой энергии и электрической энергии, получаемых соответствующим преобразованием солнечного излучения.

Одной из форм учета влияния вводимых источников энергии на экологию региона может быть введение в удельную стоимость получаемой энергии регионального экологического фактора источника, учитывающего относительные расходы на компенсацию вредных последствий ввода единицы энергии того или иного источника в регионе. Если удельная стоимость источника энергии в производстве, то удельная стоимость с учетом коэффициент регионального экологического фактора > 1 для источника, приводящего к ухудшению экологической обстановки в регионе, и коэффициент регионального экологического фактора < 1 – для источника, улучшающего экологическую обстановку в регионе; для одного и того же источника экологического коэффициента в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы.

Таким образом, с учетом регионального фактора стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования

солнечной установки в общем случае определяются включением коэффициент регионального экологического фактора, механизм чистого развития Киотского протокола Марракешского соглашения [5,9,11-13].

Ожидаемое сокращение выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Юго-Восточной части Туркменистане при использовании солнечной фотоэлектрической станции составит: при годовой выработке с 1 кв. м 248,5 кВт ч/год, экономия расхода топлива 99,4 кг у.т./год, сокращение выбросов: диоксид серы SO₂ – 2,06; оксид азота NO_x – 1,11; оксид углерода CO – 0,144; метан CH₄ – 0,303; двуокись углерода CO₂ – 0,158; твердых веществ – 0,216 кг/год; от преобразовании тепловой энергии – 1296,8 кВт ч/год, экономия расхода топлива 518,7 кг у.т./год, сокращение выбросов SO₂ – 10,78; NO_x – 5,8; CO – 0,754; CH₄ – 1,58; CO₂ – 829,34; твердых веществ – 1,13 кг/год [4-9,12-14].

Эмпирические ресурсы солнечной энергии регионов Туркменистана. Территория Туркменистана достаточно велика и расположена между 35°0' и 42°48' северной широты и 52°27' и 66°41' восточной долготы. Протяженность с запада на восток – 1100 км, с юга на север – 650 км. Площадь государства – 491.2 тыс. кв. км., естественно, что солнечный радиационный режим в

веляятах (областей) отличается, поэтому мы исследовали четыре веляята: северный – Дашогузский; восточный – Лебапский; центральный – Ахалский; западный – Балканский [1,4,5-11].

Преобразование солнечной энергии с помощью фотопреобразователей зависит от валового, технического потенциала солнечной радиации.

В своих расчетах мы использовали метеорологические данные, взятые из справочников по климату [2,3,6-11].

Метеорологические данные обработаны по выше приведенной формуле. Мы условно перемещаем фотопреобразователь (ФЭП) по регионам страны и получаем прогнозную среднюю мощность ФЭП (Вт/м²) с 1 м² по месяцам года. Проводим обработку метеорологических данных на ЭВМ, разлагая их в ряды Фурье, и получаем эмпирическую формулу радиационных режимов по регионам страны.

Обработав многолетние данные по солнечной радиации, получили выражение средней солнечной радиации (I) в течение года (τ) в виде рядов Фурье.

Для северного Дашогузскоговеляята:

$$I = 466,25 + 317,8 \cos(0,26\tau - 0,058) + 24 \cos(0,52\tau + 1,0) + 11,2 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (118).$$

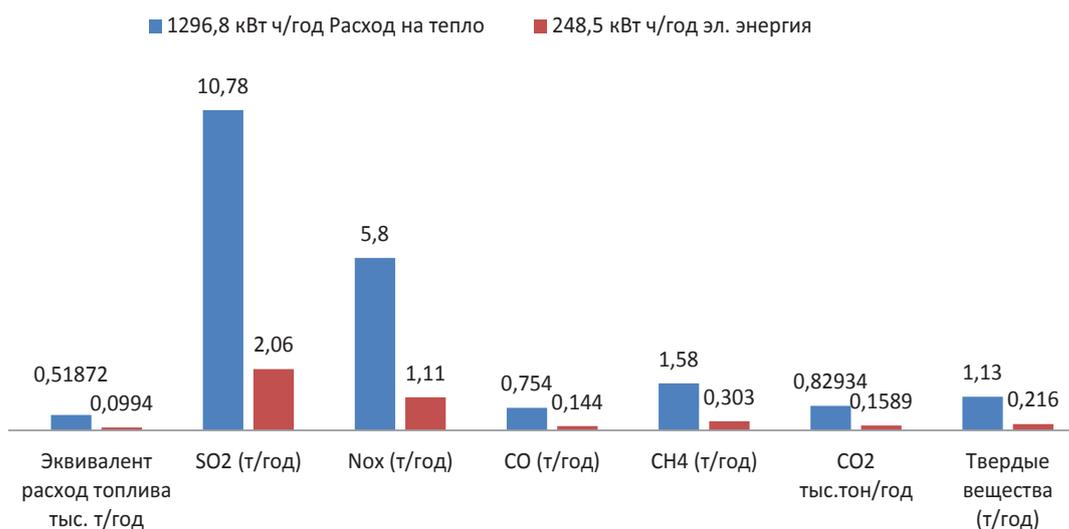


Рис. 7. Экологический потенциал сокращения вредных веществ от преобразования солнечной энергии в тепловую, электрическую в течение года

Таблица 18

Обобщенные результаты теоретических и методических расчета
солнечно-энергетических ресурсов на Юго-Восточной части Туркменистана

Обозначения	I	II	III	IV	V	VI	VII
E_i	66,3	93,1	132,7	172,2	235,1	252,6	250,2
T_{pi}	48	95	161	244	321	382	395
T_{oi}	2,3	5,6	11,8	19,9	26,7	31,2	32,9
ε	0,14	0,24	0,25	0,21	0,29	0,31	0,32
$\cos\xi-30$	0,806529	0,866509	0,862173	0,865993	0,801173	0,759098	0,776498
$\cos\xi-45$	0,832138	0,870255	0,824525	0,792824	0,694109	0,635707	0,659351
$\cos\xi-60$	0,690434	0,725384	0,65085	0,613214	0,497181	0,430982	0,457738
$\cos\xi-75$	0,501963	0,53138	0,433089	0,392068	0,266577	0,197065	0,225121
$\cos\xi-90$	0,279492	0,301382	0,185993	0,144365	0,017916	-0,0502	-0,02275
T_i	2,3285992	5,620333	11,81717	19,91477	26,7154	31,21394	32,91337
$\cos\theta$	0,453609	0,571392	0,660156	0,76728	0,793599	0,797334	0,797241
ρ	0,26	0,26	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23
E_{pri}	34,9	52,4	69,8	103,5	165,3	193,2	217,8
E_{di}	31,4	40,7	62,9	68,7	69,8	59,4	32,4
ω	20,6	20,8	28,5	30,5	36,7	39,9	38,6
δ	-21,2	-12,8	-2,2	9,7	18,8	23,3	21,6
$\cos\beta$	0,484609	0,606838	0,742313	0,864209	0,932732	0,958078	0,949185
E_{ni}	89,9109	117,0348	150,0748	183,5561	236,1967	243,3109	245,1051
W_{Σ}	66,3	93,1	132,7	172,2	235,1	252,6	250,2
W_{mm}/Sm	52,75282	67,76032	90,18992	112,295	161,4342	174,3975	174,1171
$W_{m\phi i}/S\phi$	9,400619	13,04121	18,16067	22,84135	30,35329	32,02179	31,49644
V_{mi}	67,07868	79,501	96,28017	116,2965	159,1553	163,9984	167,0985
$V_{\phi i}$	10,62845	14,03512	18,48095	23,37692	30,91627	32,41661	32,87226
E_{opi}	125,6985	123,8309	150,7597	177,299	210,3341	218,5959	213,406

Обозначения	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма	Ср.мес.
E_i	231,6	181,6	138,5	82,6	59,4	1895,9	157,9917
T_{pi}	371	322	272	148	56	2815	234,5833
T_{oi}	31	25,3	17,8	9,8	4,2	218,5	18,20833
ε	0,28	0,21	0,24	0,19	0,18	2,86	0,238333
$\cos\xi-30$	0,836835	0,834686	0,867759	0,817548	0,799558	9,894356	0,82453
$\cos\xi-45$	0,746669	0,775051	0,853669	0,832826	0,834021	9,351147	0,779262
$\cos\xi-60$	0,557997	0,58616	0,694799	0,683099	0,701139	7,288979	0,607415
$\cos\xi-75$	0,331529	0,357565	0,488867	0,487102	0,520765	4,73309	0,394424
$\cos\xi-90$	0,082605	0,10475	0,249821	0,25811	0,305118	1,856605	0,154717
T_i	31,01316	25,31185	17,81065	9,81161	4,22198849	218,692825	18,22440208
$\cos\theta$	0,782965	0,685028	0,610359	0,485439	0,431036	7,835438	0,652953
ρ	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	2,82	0,235
E_{pri}	183,9	138,5	97,7	52,3	30,2	1339,5	111,625
E_{di}	47,7	43,1	40,8	30,3	29,2	556,4	46,36667
ω	33,6	33,2	24,4	22,5	18,5		
δ	14,2	3,1	-8,4	-18,4	-23,3	4,4	0,366667
$\cos\beta$	0,900916	0,800864	0,665853	0,526634	0,45233		
E_{ni}	244,4018	211,5609	178,265	115,9782	81,40134	2096,797	174,733
W_{Σ}	231,6	181,6	138,5	82,6	59,4	1895,9	157,9917
W_{mm}/Sm	159,5985	118,1383	85,70597	54,23476	46,1543	1296,779	108,0649
$W_{m\phi i}/S\phi$	29,38382	23,57855	18,52278	11,39037	8,363791	248,5547	20,71289
V_{mi}	166,191	134,5569	103,061	67,24095	57,64336	1378,102	114,8418
$V_{\phi i}$	32,53644	27,53722	22,50801	14,16117	9,702668	269,1721	22,43101
E_{opi}	212,975	209,428	172,4558	137,8258	113,0022	2065,611	172,1343

Для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 478,1 + 317,5 \cos(0,26\tau + 0,059) + 23,7 \cos(0,52\tau + 0,691) + 11,2 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (119).$$

Для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 519,1 + 320,3 \cos(0,26\tau + 0,05) + 11,8 \cos(0,52\tau + 0,938) + 16,0 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (120).$$

Для западного Балканского вейаята;

$$I = 542,57 + 276,8 \cos(0,26\tau - 0,066) + 15,9 \cos(0,52\tau + 0,586) + 2,9 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (121).$$

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать:

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 83,8245 \times \ln(x) + 375,34 \quad (122);$$

для Лебапского вейаята:

$$Y = 88,3235 \times \ln(x) + 421,666 \quad (123);$$

для Ахалского вейаята:

$$Y = 84,2095 \times \ln(x) + 377,567 \quad (124);$$

для Балканского вейаята:

$$Y = 59,8417 \times \ln(x) + 443,496 \quad (125).$$

Используя технический потенциал солнечной энергии для фотопреобразователей с КПД 10-12% (мы взяли среднем 11%), то выражения (118-121) получают вид.

Для северного Дашогузского вейаята:

$$I = 51,28 + 34,96 \cos(0,26\tau - 0,058) + 2,64 \cos(0,52\tau + 1,0) + 1,23 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (126).$$

Для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 52,59 + 34,92 \cos(0,26\tau + 0,059) + 2,61 \cos(0,52\tau + 0,691) + 1,23 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (127).$$

Для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 57,1 + 35,23 \cos(0,26\tau + 0,05) + 1,29 \cos(0,52\tau + 0,938) + 1,7 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (128).$$

Для южного Балканского вейаята;

$$I = 59,66 + 30,45 \cos(0,26\tau - 0,066) + 1,7 \cos(0,52\tau + 0,586) + 0,32 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (129).$$

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать:

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 9,22 \times \ln(x) + 41,29 \quad (130);$$

для Лебапского вейаята:

$$Y = 9,71 \times \ln(x) + 46,38 \quad (131);$$

для Ахалского вейаята:

$$Y = 9,26 \times \ln(x) + 41,53 \quad (132);$$

для Балканского вейаята:

$$Y = 6,58 \times \ln(x) + 48,78 \quad (133).$$

В итоге получены эмпирические формулы с учетом валового, технического потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помощью которых можно прогнозировать энергетический потенциал гелиотехнических установок, оборудования, сооружений и т.д.

Используя технический потенциал солнечной энергии для фотопреобразователей с КПД 10-12% (мы взяли среднем 11%), и преобразовав выбросы CO₂ – грамм на 1 м² то получаем эмпирическую зависимость о возможности сокращения выброса CO₂ с одного квадратного метра в граммах CO₂ – эквивалента при преобразовании солнечной энергии в электрическую и выражения (118-121) получит вид:

для северного Дашогузского вейаята:

$$I = 512,8 + 349,6 \cos(0,26\tau - 0,058) + 26,4 \cos(0,52\tau + 1,0) + 12,3 \cos(0,78\tau - 0,244) \quad (134);$$

для восточного Лебапского вейаята:

$$I = 525,9 + 349,2 \cos(0,26\tau + 0,059) + 26,1 \cos(0,52\tau + 0,691) + 12,3 \cos(0,78\tau - 1,46) \quad (135);$$

для центрального Ахалского вейаята:

$$I = 571 + 352,3 \cos(0,26\tau + 0,05) + 12,9 \cos(0,52\tau + 0,938) + 17 \cos(0,78\tau + 0,402) \quad (136);$$

для западного Балканского вейаята:

$$I = 596,6 + 304,5 \cos(0,26\tau - 0,066) + 17 \cos(0,52\tau + 0,586) + 3,2 \cos(0,78\tau - 0,08) \quad (137);$$

Графически представлено на рис. 8.

В логарифмическом виде выражение солнечной радиации (Y) соответственно можно записать;

для Дашогузского вейаята:

$$Y = 92,2 \times \ln(x) + 412,9 \quad (138).$$

для Лебапского веляята:

$$Y = 97,1 \times \ln(x) + 463,8 \quad (139).$$

для Ахалского веляята:

$$Y = 92,6 \times \ln(x) + 415,3 \quad (140).$$

для Балканского веляята:

$$Y = 65,8 \times \ln(x) + 487,8 \quad (141).$$

В итоге получены эмпирические формулы с учетом валового, технического и экологического потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помо-

щью которых можно математически описать энергетическое и экологическое прогнозирование. Это поможет дать прогноз по веляятам Туркменистана о возможности экономии электроэнергии и сокращения выбросов CO_2 с одного квадратного метра в г CO_2 – экв. при преобразовании солнечной энергии в электрическую, а также рассчитать энергетический потенциал гелиотехнических установок, оборудования, сооружений в условиях Туркменистана приведены в таблице 19, 20.

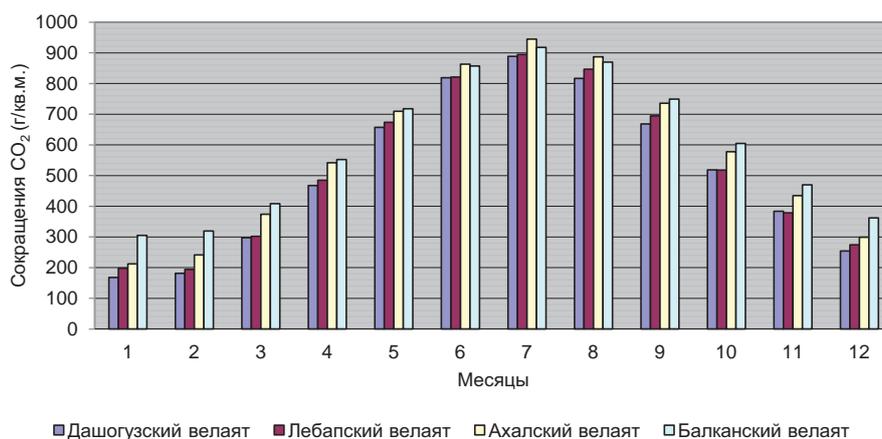


Рис. 8. Экологический потенциал солнечного фотопреобразователя по веляятам (областям) Туркменистана сокращения CO_2 с 1 м^2 по месяцам года

Таблица 19

Экологические потенциал солнечно-энергетических установок в Туркменистане

Наименование установки	Эквивалент кВт час	SO_2 (т/год)	NO_x (т/год)	CO (т/год)
Биогаз установка 26 МДж	7,22	6,00267E-05	3,23221E-05	4,19767E-06
Гелиокомплекс 1,8 т у.т.	2094,94	0,017417234	0,00937851	0,001217988
Безотходный гелиобиотехнологический комплекс 584,1 МДж	162,24	0,001348856	0,000726307	9,43256E-05
Гелиустановка выкашивания хлореллы 30 тыс. т у.т.	34915713,3	290,2876164	156,3087165	20,29983331
Гелиосушиллки 540 млн. т у.т	628482857,1	5225,177242	2813,556977	365,3970099
Гелиоопреснители 2512 МДж	697,76	0,005801144	0,003123693	0,000405674

Наименование установки	Эквивалент кВт час	CH_4 (т/год)	CO_2 (т/год)	Твердые вещества
Биогаз установка 26 МДж	7,22	8,81512E-06	0,004617	6,29651E-06
Гелиокомплекс 1,8 т у.т.	2094,94	0,002557776	1,339787	0,001826983
Безотходный гелиобиотехнологический комплекс 584,1 МДж	162,24	0,000198084	0,103758	0,000141488
Гелиустановка выкашивания хлореллы 30 тыс. т у.т.	34915713,3	42,62964996	22329,82	30,44974997
Гелиосушиллки 540 млн. т у.т	628482857,1	767,3337209	401936,7	548,0955149
Гелиоопреснители 2512 МДж	697,76	0,000851916	0,446242	0,000608512

Таблица 20

Эколого-экономические потенциалы
от использования солнечных установок в Туркменистане

Название установки	Технические показатели	Экономические показатели	Экологические показатели
Гелиосушилки	Для дыни – 80 м ³ объем, удельная производительность по сухой продукции 0,8-1,0 кг/м ² сушеной дыни за сутки	Использование гелиосушилок для переработки сельскохозяйственной продукции позволит сэкономить за 20 лет 540 т у.т., ориентировочная стоимость – 7000\$ США, срок окупаемости 2–4 года; для кишмиша соответственно – 4200 м ³ ; 0.3 кг/м ² ; 3000 \$, 3–4 года	Использование гелиосушилок для переработки сельскохозяйственной продукции позволит сэкономить за 20 лет 540 млн. т у.т., уменьшит выбросы CO ₂ на 1310,7 Тг
Гелиоводонагреватели	В среднем на одного сельского жителя требуется 0,55 МВт в год, с помощью солнечного коллектора можно получить 85 л горячей воды температурой 60–65°C	Использование солнечной энергии для нагрева воды позволит сэкономить за год с 1 м ² водонагревательной установки 0.15 т у.т., за летний световой день при плотности солнечной радиации 1100 Вт/м ² . В этих случаях можно обеспечить 80% годовой тепловой нагрузки, 20% – за счет теплового дублера	Использование солнечной энергии для нагрева воды позволит сэкономить за год с 1 м ² водонагревательной установки 0.15 т у.т., уменьшит выбросы CO ₂ на 0,364 Мг
Гелиоопреснители	Годовая производительность с 1 м ² установки при средней глубине заполнения 0,16 м, с предельной концентрацией соли 0,158 кг/л составляет 1,2 м ³ /м ² год	Расход теплоты на опреснение 1м ³ морской воды составляет 2512 МДж (0.60 Гкал)	Расход теплоты на опреснение 1м ³ морской воды составляет 2512 МДж (0.60 Гкал), или сокращение выбросов CO ₂ на 0,146 Мг
Гелиоустановка биогаз	Объем выделяющегося газа составляет 340 л/кг сухого вещества, характеристики выделяемого газа: 60–70% метана, 20–40% углекислого газа, 1–3% серной кислоты, примерно по 1% на водород, кислород, сульфид водорода, азота и оксид углерода	Внедрение новых технологий для получения биогаза позволит получить теплотворную способность биогаза 20–26 мДж/м ³	Внедрение новых технологий для получения биогаза позволит уменьшить выбросы метана в атмосферу примерно на 4,4т CO ₂ эквивалента
Гелиоустановка для выращивания микроводорослей (хлореллы, спирулина, сцендесмуса)	Химический анализ сухого вещества хлореллы показывает, что в нем содержится до 45% белка, 20–30% углеводов, 7–10% жира и до 23 наименований аминокислот, в том числе триптофан и метонин	Экономия топлива на заданный объем производства биомассы хлореллы за счет использования солнечной энергии по предварительной оценке составит 30 тыс. т у.т. в год, Расход электрической энергии на производство 1м ³ кондиционной биомассы в гелиоустановке не превышает 70 кВт ч, что в 8 раз меньше, чем на обычных установках с искусственным обогревом и освещением	Экономия топлива на заданный объем производства биомассы хлореллы за счет использования солнечной энергии по предварительной оценке составит 30 тыс. т у.т. в год, уменьшит выбросы CO ₂ на 0,072 Тг

Из рассмотренного научного аналитического обзора, теоретических, методических и практических расчетных базы данных для ГИС технологий по использования солнечной энергии в Туркменистане можно сделать следующие **выводы**:

1. На основании теоретических исследований и методических расчетов солнечно – энергетических ресурсов с учетом интенсивности солнечного излучения, альbedo, географических, климатических и неблагоприятных погодных условий получены энергетические потенциалы на 1 квадратный метр Юго-Восточной территорий Туркменистана составляет: валовый потенциал – 1895,9 кВт ч/ м² год; технический потенциал преобразования в тепловую энергию – 1296,8 кВт ч/ м² год, в электрическую энергию – 248,5 кВт ч/ м² год. Подробные результаты расчетов по месяцам приведены в таблице 18.

2. Техничко-экономические и теоретические расчеты экономических потенциалов позволят составить технико-экономическое обоснования при строительстве солнечно-энергетических станции, установок, сооружений для внедрения дадут возможность экономии органического топлива от преобразования в тепловую – 1378,1 кВт ч/ год; в электрическую энергию – 269,2 кВт ч/год.

3. Экологические потенциал солнечно-энергетических установок в Туркменистане представлены в таблице 20. Ожидаемый экологический потенциал сокращение выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Юго-восточной территории Туркменистана при использовании солнечной фотоэлектрической станции составит: при годовой выработке с 1 кв. м 248,5 кВт ч/год, экономия расхода топлива 99,4 кг у.т./год, сокращение выбросов: диоксид серы SO₂ – 2,06; оксид азота NO_x – 1,11; оксид углерода CO – 0,144; метан CH₄ – 0,303; двуокись углерода CO₂ – 0,158; твердых веществ – 0,216 кг/год; от преобразовании тепловой энергии – 1296,8 кВт ч/год, экономия расхода топлива 518,7 кг у.т./год, сокращение выбросов SO₂ – 10,78; NO_x – 5,8; CO – 0,754; CH₄ – 1,58; CO₂ – 829,34; твердых веществ – 1,13 кг/год. На основании теоретических и исследований работ использования солнечно-энергетических установок можно составить проектные предложения для экобизнеса продажи квот углеродному фонду Всемирного банка.

4. На основании математических преобразований получены эмпирические формулы с учетом валового, технического, экологический потенциалов солнечной энергии по регионам Туркменистана, с помощью, которых можно прогнозировать энергетический, экономические и экологические потенциалы гелиотехнических установок, оборудования, сооружений для составления ГИС технологических базы данных областей Туркменистана.

5. Учитывая результаты выше изложенных расчетов потенциалов солнечно – энергетических ресурсов в Туркменистане, позволит решать энергетические и социально-экономические проблемы регионов, удаленных от централизованных энергосистем, поселков, населенных пунктов, объектов дайханских и пастбищных хозяйств, формально находящихся в зонах централизованного энергоснабжения, но экономически труднодоступных местностях. Другим существенным фактором использования солнечных энергетических ресурсов даст возможность сохранения экологической безопасности и составить ГИС технологическую карту для улучшения экосистему региона.

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бабаев А.Г. Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад: Изд-во «Бильм», 2012. – 340 с.
3. Байрамов Р., Сейткурбанов С. Опреснение с помощью солнечной энергии / под ред. В.А. Баума. – Ашхабад: Бильм, 1977. – 148 с.
4. Берштейн Л.С., Целых А.Н. Гибридная экспертная система с вычислительным модулем для прогноза экологических ситуаций. Труды международного симпозиума “Интеллектуальные системы – ИнСис – 96”. – М., 1996.
5. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий. – URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
6. Израэль Ю.А. Возможности сохранения (стабилизации) современного климата с помощью новых технологий // Биосфера. – 2011. – Т. 3, № 1. – С. 1-5.
7. Марчук Г.И. Математическое моделирования в проблемах окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
8. Козлов В.Б. Энергетика и природа. – М.: Мысль, 1982. – 92 с.
9. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М., 1998.
10. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС «Возобновляемые источники энергии России» Труды 6-й межд. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.

11. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике Труды 6-й между. н/т конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – С. 314-322.
12. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод Туркменского озера «Алтын асыр» // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2014. – № 13. – С. 129-150.
13. Пенжиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок: монография. LAMBERT AcademicPublishing, 2012.
14. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 с.
15. Пенджиев А.М. Планирование развития фотоэнергетики в Туркменистане // Экологическое планирование и управление. – 2007. – № 4.
16. Пенджиев А.М. Ожидаемая эколого-экономическая эффективность использования фотоэлектрической станции в пустынной зоне Туркменистана // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2007. – № 5. – С. 135-137.
17. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и устойчивого развития на основе возобновляемой энергетике в Центральной Азии // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. – 2012. – № 1. – С 139-156.
18. Пенджиев А.М., Астанов Н.Г., Пенжиев М.А. Использование солнечно-энергетических установок в заповедных зонах Туркменистана для улучшения аридной экосистемы // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 12 (104). – С. 26-32.
19. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (обобщение статей) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 08 (148). – С. 45-78.
20. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 10 (78). – С. 142-148.
21. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетики и ее экологический потенциал в Туркменистане // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 9 (77). – С. 131-139.
22. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане: монография. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.
23. Струков Д.Р. Проект системы медико-экологического мониторинга окружающей среды на базе ГИС. – URL: www.gisa.ru
24. Смирнов Б.М. Атмосфера Земли и энергетика. – М.: Знание, 1979.
25. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математические основы экологии. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. – 156 с.
26. Использование солнечной энергии / под ред. профессора Рыбаковой Л.Е. – Ашхабад: Ылым, 1985.
27. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1-16. Вып. 1-30. – Л., 1989. – 502 с.
28. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. – Л.: Гидрометиздат, 1989.
29. Первое Национальное сообщение по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Фаза 2. Нарращивание потенциала в приоритетных областях экономики Туркменистана в связи с изменением климата. Проект GF/2328-2724-4313 ЮНЕП / ГЭФ Туркменистан. – Ашхабад, 2006.
30. URL:<http://www.gis.Su>