

УДК 004.6; 528; 004.8; 621.383; 621.472

DOI:10.18413/2518-1092-2016-1-4-43-54

Пенджиев А.М.

**ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РАЗВИТИИ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ**

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, 1916-ая улица 136,  
г. Ашхабад, 744025, Туркменистан  
*e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

**Аннотация**

В статью заложены основы использования геоинформационной системы и технологии, которая позволит оперативно и подробно анализировать имеющуюся географически привязанную информацию различных альтернативных энергетических вариантов. Оцениваются возможности использования ветроэнергетических ресурсов, создается база данных в области энергообеспечения в труднодоступных отдаленных населенных пунктах страны. С помощью теоретических расчетов выведены эмпирические уравнения, составлена карта ветроэнергетических ресурсов для ГИС и обоснованы энергетические, экономические, экологические потенциалы для реализации государственных программ Туркменистана на основе возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика; ветроэнергетика; геоинформационные системы; технологии; энергоэффективность; экология; экобизнес; Туркменистан.

UDC 004.6; 528; 004.8; 621.383; 621.472

Penjiev A.M.

**GEOINFORMATION SYSTEM IN DEVELOPMENT WIND POWER  
IN TURKMENISTAN**

Turkmen State Institute of Architecture and Construction, 136 1912th St., Ashgabat, 744025, Turkmenistan  
*e-mail: ampenjiev@rambler.ru*

**Abstract**

The article discusses the geoinformation systems (GIS) and creation of geoinformation technologies (GIT) which allow to analyze operatively and in detail the geographically connected information of various alternative variants of energy supplies. The author assesses the possibilities of using wind power resources and creates a database in the field of energy supplies in remote areas of the country. Using the theoretical calculations, the author deduces some empirical equations, makes a map of wind power resources for GIS, and substantiates the power, economic and environmental potentials for implementing the state programmes in Turkmenistan on the basis of renewable energy resources.

**Keywords:** renewable power economy; wind power resources; geoinformation systems; technologies; ecology; environmental business; Turkmenistan.

**Введение**

**Актуальность проблемы.** В своих выступлениях Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов неоднократно подчеркивал проблему о рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов, представляющую собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой имеет определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания –

биосферы. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии [1, 11,12,19].

Несмотря на то, что современная энергетика в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии (около 80% в мировом энергетическом балансе составляют нефть, газ и каменный уголь), интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) неуклонно растет.

Главными аргументами для использования ВИЭ являются высокая цена традиционного топлива, энергетическая безопасность для стран-импортеров нефти и газа и проблемы охраны окружающей среды.

В этой связи одной из важнейших научно-технических проблем народного хозяйства в энергетической отрасли является обеспечение геоинформационными технологиями (ГИТ) и поддержка принятия управленческих решений государственных органов в сфере планирования развития сектора энергообеспечения на основе ВИЭ. Стратегия развития энергетики для любого региона Туркменистана и вовлечение ВИЭ в его энергетический баланс напрямую зависят от имеющегося потенциала, как по отдельным видам, так и по совокупности видов ВИЭ (комплексного потенциала) [3, 8-10, 22].

Изучение неравномерностей пространственного распределения потенциала ВИЭ и выявление наиболее перспективных районов под строительство энергогенерирующих объектов в совокупности с анализом инфраструктуры в данных районах эффективно при использовании специализированных технологий геоинформационного моделирования.

В настоящее время отсутствуют исследования, посвященные вопросам применения геоинформационных технологий для выполнения пространственного моделирования потенциала возобновляемых энергоресурсов. Геоинформационные системы (ГИС) в данной предметной области используются, как правило, только для визуализации точечных результатов рассчитанных величин. Это выполняется по следующей схеме: а) рассчитываются точечные значения потенциала; б) с использованием ГИС общего назначения выполняется интерполяционное сглаживание по пространству; в) в той же ГИС общего назначения результаты визуализируются в виде карты ареалов или изолиний. Применение такой схемы оправдано при максимальной плотности исходных точечных данных, которая может быть обеспечена лишь на мелких масштабах. При работе со средними и крупными масштабами необходим другой подход. Подход, в рамках которого будут учитываться различия в плотности исходных данных параметров, влияющих на значение потенциала источников возобновляемых энергоресурсов, в частности ветроэнергоресурсов Туркменистана и каждый параметр будет рассмотрен отдельно в процессе иерархического решения поставленных задач [3, 8-10, 22].

Исходя из выше приведенных задач, автор подготовил статью, конечно, он осознает, что при написании статьи не все задуманное удалось реализовать в полном объеме. Он прекрасно понимает, что он делает первые шаги в этом направлении, поэтому имеются недостатки как в теоретическом плане, так в практической и прикладной части. Но тем не менее заложить основы вопроса использования ГИС технологий в области применения ветроэнергетики для энергообеспечения отдаленных населенных пунктов и смягчений антропогенных нагрузок на окружающую среду с помощью возобновляемых источников энергии стоит. Используемые материалы и методика подхода могут быть полезны для применения их не только в Туркменистане, но и в других странах мира.

*Целью и задачей статьи* является разработка ГИС, технологий и на основе ВИЭ обеспечение информационного, программного геоинформационного моделирования для решения задач оценки распределения возобновляемых энергоресурсов, в частности распределения и составления карты, проектно-сметной документации для технико-экономического обоснования, использования ветроэнергетических ресурсов на территории Туркменистана.

**Научная новизна.** Охарактеризованы основные положительные моменты построения новой ГИС и технологии и создана основа для решения задач комплексной оценки возобновляемых ресурсов, в частности ветроэнергоресурсов и их экологического потенциала на территории Туркменистана. Впервые с применением геоинформационных технологий построены: энергетическая и экологическая карта потенциала ветроэнергоресурсов и рассчитана техническая доступность ветроэнергетических ресурсов для электроснабжения на территории Туркменистана.

### **1. Основы геоинформационные системы в области возобновляемой энергетики**

ГИС – это интегрированные в единой информационной среде электронные пространственно-ориентированные изображения (карты, схемы, планы и т.п.) и базы данных (БД). В качестве БД могут использоваться теоретические расчеты, таблицы, паспорта, иллюстрации, расписания и т.п. Такая интеграция значительно расширяет возможности системы и позволяет упростить аналитические работы с координатно-привязанной информацией [3, 8-10, 22].

ГИС характеризуются следующими положительными моментами:

- наглядность представления семантической информации из БД за счет отображения взаимного пространственного расположения данных;

- увеличение информационной емкости продукта за счет связи пространственно-ориентированных изображений с семантической информацией из БД;

- улучшение структурированности информации и, как следствие, повышение эффективности ее анализа и обработки.

Традиционный набор функций ГИС при работе с картой включает:

- показ карты в различных масштабах;
- выбор набора слоев информации для показа;

- зависимость внешнего вида объектов от их семантических характеристик;

- оперативное получение информации об объекте при выборе его курсором мыши;

- возможность распечатки любых фрагментов карты.

**Области применения и использования ГИС – технологий.** Энергетические компании широко используют ГИС для разработки проектов. Например, с использованием локальных ГИС технологий, они позволили интегрировать и в комплексе проанализировать многие лимитировали факторы, как путь и интенсивность судоходства, территории разработки нефтяных месторождений и пути прокладки нефтепроводов, маршруты миграции птиц, ограничения со стороны военных ведомств и многое другое. При оценке учитывали влияние каждого фактора, при этом обеспечили детальный анализ пригодности и экологическую чувствительность того или иного участка в процессе выбора мест для строительства энергетических объектов.

ГИС эффективны во всех областях, где осуществляется учет и управление территорией и объектами на ней. Это практически все направления деятельности органов управления и администраций: земельные ресурсы и объекты недвижимости, транспорт, инженерные коммуникации, развитие бизнеса, обеспечение правопорядка и безопасности, управление ЧС, демография, экология, здравоохранение и т.д. [3, 8-10, 22].

Интеграционные возможности ГИС поистине безграничны. Эти системы позволяют вести учет

численности, структуры и распределения населения и одновременно использовать эту информацию для планирования развития социальной инфраструктуры, транспортной, энергетической сети, оптимального размещения объектов здравоохранения, противопожарных отрядов и сил правопорядка и так далее [3, 8-10, 22].

В данной работе рассмотрим создание основы ГИС и технологию службы энергообеспечения отдаленных пустынных районов и получения информации для графического построения карт, как отдельных различных животноводческих объектов, улучшения сельских жителей, их экономическую, экологическую и социальную проблемы. Отмеченные на карте области во многих случаях гораздо нагляднее отражают требуемую информацию, чем десятки страниц отчетов с таблицами.

Использование возобновляемых источников энергии имеет важное значение для обеспечения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства в тепловой и электрической энергии, позволяет решать энергетические, социально-экономические, экологические проблемы регионов Туркменистана, удалённых от централизованных энергосистем.

**Особенности возобновляемых источников энергии.** Возобновляемая энергетика характеризуется многогранностью, разнообразием характеризующих её критериев и составляющих. В перечне задач возникает осуществление проектов по возобновляемой энергетике (ВЭ) (помимо технологических и технических), особо выделяются проблемы оценки возможности и энергоэффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для энергоэкологообеспечения регионов [8-10, 22].

Очевидно, что при этом с одной стороны необходимы обширные массивы информации, охватывающей как природные ресурсы территории, так и экономические, экологические характеристики региона (инфраструктура энергетике, энергетические балансы, линии электропередач, наличие отраслей промышленности; характеристики сельскохозяйственного производства, пастбищных животноводческих хозяйств и прочие другие.). С другой стороны, необходимо привлечь такие инструменты анализа, которые позволяли бы собирать, оперативно модернизировать и преобразовывать эти массивы данных, отображать их путем

всестороннего анализа и получать на их основе обоснованные оценки и делать технологические расчеты.

Одновременно следует учитывать, что зачастую пользователя интересуют комплексные оценки по различным видам источников энергии. В конкретных регионах наиболее эффективным может стать либо использование гибридных энергоустановок, либо создание нескольких установок (станций) на различных типах энергии. В связи с комплексностью указанной проблемы, а также известной «региональностью» возобновляемой энергетики, становится возможным и актуальным использование инструментария геоинформационных технологий.

### ***Зарубежный опыт использования ГИС в возобновляемой энергетике.***

В настоящий момент за рубежом имеется достаточно успешный опыт использования ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики. Рассмотренные в ходе исследования зарубежных авторов по геоинформационным ресурсам ВЭ можно подразделить по охвату территории на: локальные; региональные; национальные; глобальные. Например: 1) Атлас возобновляемой энергетики Вермонта [3] – региональная ГИС, разработанная на основе ArcGIS 9.3.1. включает в себя детальную информацию о действующих объектах возобновляемой энергетики на территории штата Вермонт (США). 2) Созданная в Национальной лаборатории ВИЭ США (NREL USA) Renewable resources map and data [3, 8] является геоинформационной системой национального уровня. По тематической широте, объему предоставляемой информации и охвату территории данная ГИС является, по-видимому, в настоящее время наиболее представительной и развитой среди аналогичных зарубежных национальных ГИС. Открытая для свободного доступа версия в Интернет включает: динамические карты, базы данных, инструменты, позволяющие пользователю иметь доступ к картам, данным и проводить анализ ресурсов возобновляемой энергетики для определения, какие технологии наиболее жизнеспособны (конкурентоспособны) для США и других стран. 3) 3TIER RenewableEnergy [3, 9, 10] – коммерческий ГИС-продукт, который предоставляет в открытом (демонстрационном) режиме только услугу Firstlook по первичной оценке ресурсов трех источников возобновляемой энергии: ветра, солнца и водных потоков. Она позволяет сделать некоторые заключения о

содержании и возможностях данного программного продукта. Оценка ветроэнергетических ресурсов основывается на данных наблюдений и результатах численного моделирования атмосферной циркуляции с учетом рельефа местности и свойств поверхности.

Таким образом, продукт, предлагаемый компанией 3TIER, характеризуется наличием постоянно обновляемой базой данных, а также возможностью пополнения ее собственными данными пользователя; инструментами анализа данных для получения на их основе новой «производной» информации, представлением результатов в виде диаграмм, графиков, карт и других визуальных объектов. Однако, отсутствие информации о методиках проведения расчетов, а также оценок точности прогноза являются весьма критичным.

Первые шаги в России сделаны с использованием ГИС в области возобновляемой энергетики учеными из МГУ Новаковским Б.А., Прасоловой А.И., Киселевой С.В., Рафиковой Ю.Ю. и другими [8, 9].

В Туркменистане на данный момент нет аналогов зарубежным ГИС по возобновляемой энергетике. На отечественном рынке создание ГИС сдерживается дороговизной специализированных программных средств, длительными сроками разработки и высокими требованиями к "компьютерной" квалификации персонала. При этом экологические вопросы на основе ВИЭ и экологические потенциалы практически не изучены, тем более ГИС и технологиями [3, 8-10, 22].

Началом моей работы в этом направлении стала инициатива по использованию ветроэнергетических установок в пустынной зоне Каракумы. Потенциал ветроэнергетических ресурсов на территории Туркменистана огромны [10-19] и характеристическая база данных собрана, теоретически рассчитана и получены эмпирические формулы [6,11-15].

По имеющим результатам направленности выделили однокомпонентные ГИС ветроэнергетическую обстановку и многокомпонентные (включающие в себя несколько комбинированных ВИЭ).

По типу информации, включили в основу ГИС ВИЭ однокомпонентную, в частности ветроэнергетических ресурсов выделили следующие направления задачи:

– данные для оценки ветроэнергетических ресурсов (комплекс метеорологических, ветровых

режимов, энергетического потенциала, кадастра и их особенности численность населения местности и многих других параметров);

–технические характеристики ветроэнергетических установок (для расчета предполагаемой выработки электрической энергии);

–экономические предпосылки (цены на энергию от традиционных и ветроэнергетических установок (в целях сравнения энергетическую, экономическую целесообразность и возможности создания экобизнеса на основе продаже квот углеродному фонду и Всемирному баку для поддержания механизма чистого развития (МЧР));

–энергетические балансы регионов (предприятия, производящие ветроэнергетическую установку, инвестиции в данную область, налоговые льготы на использование ветроэнергетических ресурсов, зарплаты работников объектов на станции и т.д.);

–социальные предпосылки (решения социально-бытовых условий, потенциал рабочих места, занятость населения отгонным животноводством в пустынной зоне Каракумы и других хозяйствах. Прогноз объема выработки электроэнергии, уменьшение негативных факторов, влияющих на здоровье населения за счет снижения вредных выбросов и т.д.);

–экологические аспекты: величина снижения вредных выбросов при использовании ветровых ресурсов, снижение загрязнения окружающей среды, почвы, воды, уровня радиационного фона (выбросов криптона в районах, где использовались атомные электростанции и др.) [7-10, 12].

Исходя, из выше поставленных задач, в статье сделан упор на создание основ по использованию ГИС технологий в ветроэнергетике Туркменистана.

**Общие физико-географические условия Туркменистана.** Туркменистан – нейтральное, независимое государство в Центральной Азии, расположена между 35° 08' и 42° 48' северной широты и 52° 27' и 66° 41' восточной долготы, севернее гор Копетдага, между Каспийским морем на западе и рекой Амударья на востоке. Протяженность с запада на восток – 1110 км, с юга на север – 650 км. Площадь государства – 491,2 тыс. кв.км. На севере он граничит с Казахстаном и на севере и юго-востоке с Узбекистаном, на юге – с Ираном и Афганистаном [1-2, 11, 12, 19].

Туркменистан обладает высоким энергетическим потенциалом. Строительство 1 км

линий электропередач (ЛЭП) обходится государству в 18–25 тыс. долл. США, что экономически не целесообразно, поэтому одним из перспективных, направление обеспечения энергией отдаленных населенных пунктов страны, является использование возобновляемых источников энергии. По изученным данным на территории Туркменистана энергетический потенциал ВИЭ огромен и составляет: Солнца –  $4 \cdot 10^{15}$  кДж или  $1.4 \cdot 10^9$  т у.т. в год; ветра –  $640 \cdot 10^9$  кВт ч в год; геотермальных вод – 2,5 млн. т у.т в год, кроме того еще достаточно энергии биомассы и малых рек.

Принятие решений использования ГИС и технологий на основе ветровой энергии в разработке, составлении проектно-сметной документации, необходимо технико-экономическое обоснование для проектирования в строительстве энергетических объектов. Для этого нужны различного рода географическое месторасположение, энергетические ресурсы и создание базы данных с соответствующими потенциалами [10-15, 19].

Создание современной инфраструктуры на основе инновационных технологий и повышение роста сельскохозяйственного производства в пустынной зоне является одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Туркменистана на долгосрочную перспективу [1].

**Ветровой режим и его особенности в Туркменистане.** Ветер на различных высотах в атмосфере Земли для каждой точки ее поверхности характеризуются его скоростью, которая, строго говоря, является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности, сезона года и погодных условий. Все процессы, напрямую связанные с использованием текущего значения скорости ветра, в частности, производство электроэнергии в ветроэлектрических установках, имеют сложный характер, так что их характеристики обладают статистическим разбросом и неопределенностью средних ожидаемых значений.

Климат Туркменистана резко континентальный с короткой, довольно холодной зимой и сухим жарким продолжительным летом.

Для холодного периода рассматриваемой территории наиболее характерна юго-западная периферия сибирского антициклона, а также выходы с юга южно-каспийских и мургабских циклонов. В январе на побережье Каспийского моря наблюдаются преимущественно восточные ветры, вызванные в силу муссонной циркуляции

смещением воздуха с холодной суши на более теплое море (повторяемость 30-40%). В Центральных Каракумах наиболее часты восточные и северо-восточные ветры (повторяемость 25-35%), обусловленные в основном юго-западной периферией сибирского антициклона, а также выходом южно-каспийских циклонов. По крайнему юго-востоку Туркменистана в это время года наблюдаются преимущественно юго-восточные и северо-западные потоки воздуха (повторяемость 15-25%) [2, 10-14, 19].

## **2. Основные этапы создания ГИС карты ветропотенциала Туркменистана**

Для создания основы ГИС карты ветроэнергетического потенциала проделан целый ряд научно-исследовательских работ: математические операции и расчеты ветропотенциала; экспериментальное распределение скорости и распределение Вейбулла; временные зависимости средней скорости ветра; распределения удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана; модель постоянного коэффициента полезного действия выхода ветроэлектрической установки на расчетный режим и многие другие расчеты, которые приведены в моих научных трудах [5, 12-21].

**Распределение удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана.** Для фонового районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока используются данные метеостанций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (классы открытости по Милевскому – 6б и выше). В соответствии с этим принципом для районирования для Туркменистана было отобрано около 72 метеостанций и выведены районы, соответствующие следующим шести диапазонам удельной мощности ветра, Вт/м<sup>2</sup>, на высоте 10 м: 1) <75, 2) 75-125, 3) 125-250, 4) 250-500, 5) 500-1000, 6) 1000-1500. Составление карты ветроэнергетического потенциала позволяет определить удельную ветровую энергию на ровной открытой местности. Если же ставить целью размещение ветроэлектрических установок в энергетически более благоприятных условиях, например, на верхних частях склона, то следует ввести поправки, учитывающие форму рельефа местности [4, 11-19, 21].

**Валовый потенциал ветровой энергии.** Валовый (теоретический) потенциал ветровой

энергии региона – это среднееголетняя суммарная ветровая энергия движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

Полное использование энергии ветра на высоте осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, отстоят друг от друга на расстоянии, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории м<sup>2</sup> в год – результат расчета энергии ветра. Например, для острова Кызыл-Су на побережье Каспийского моря равен 0,623 10<sup>6</sup> кВт\*ч/(м<sup>2</sup>\*год) [4, 11-19].

**Технический потенциал ветровой энергии.** Технический потенциал ветровой энергии региона – это суммарная электрическая энергия, которая может быть получена в регионе от использования валового потенциала ветровой энергии при современном уровне развития технических средств и соблюдении экологических ограничений. Технический потенциал для острова Кызыл-Су составляет: 9,8 10<sup>4</sup> кВт ч/год [13, 14].

Технический и энергетический потенциал с удельным расчетом мощности, энергией ветрового потока и с использованием экспериментальных результатов повторяемости скорости ветра на высоте 10 м, представлен на рисунке 1.

**Экономический потенциал ветровой энергии.** Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования ветроэлектрических установок, получение которой экономически оправдано при существующем уровне цен на производство, транспортировку, потребление энергии, топлива и соблюдении экологических норм. Экономический потенциал региона представляет сумму экономических потенциалов составляющих его зон [11-19].

Удельная стоимость установленной мощности ветроэлектрических станций, подключенных к энергосистемам, уменьшилась в 4 раза с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт. Экономическая эффективность, стоимость вырабатываемой электроэнергии и установленной мощности, а также срок окупаемости и службы ветроэлектрических установок представлены на рисунке 2.

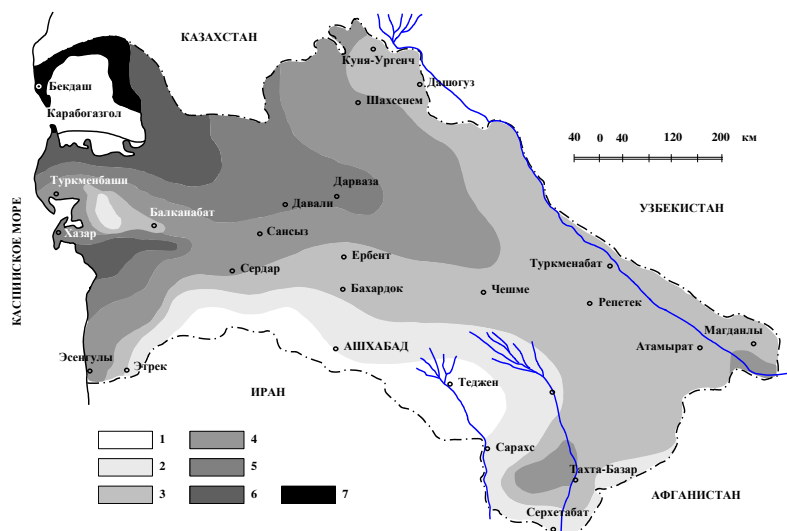


Рис. 1. Ветроэнергетические ресурсы Туркменистана

1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью составит менее 100 кВтч/м<sup>2</sup> в год; 2 – от 100 до 200; 3 – от 200 до 400; 4 – от 400 до 600; 5 – от 600 до 800; 6 – от 800 до 1000; 7 – более 1000

Fig. 1. Wind power resources of Turkmenistan

1 - areas where the energy of an air stream with 90 % supply will make less than 100 kWh /m<sup>2</sup> in a year; 2 – from 100 to 200; 3 - from 200 to 400; 4 – from 400 to 600; 5 – from 600 to 800; 6 – from 800 to 1000; 7 – over 1000

Срок окупаемости ветроэлектрической установки, определенным по выше изложенным результатам, для острова Кызыл-Су равен 2,3 годам.

На рисунке 2 представлены графики изменения стоимости вырабатываемой электроэнергии и установленной мощности зарубежных сетевых ветроэлектрических станций по годам. В 1996 г. стоимость электроэнергии составляла менее 5 цент/(кВт ч) и была сравнима со стоимостью энергии, получаемой при использовании традиционных топлив. Более того, в настоящее время, например, в Дании стоимость электроэнергии от ветроэлектрических станций меньше, чем от электростанций на угле.

За тот же 15-летний период удельная стоимость установленной мощности ветроэлектрических станций, подключенных к

энергосистемам, уменьшилась в 4 раза с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт.

Стоимость установленной мощности возобновляемых источников энергии для конкретного региона, в том числе ветроэлектрических установок, включает в стоимость производства соответствующее оборудование, расходы по его транспортировке на место установки и стоимость строительства. Определение стоимости установки, а также ресурса ее работы в натуральных условиях, позволяют установить стоимость вырабатываемой полезной энергии и дают возможность произвести сравнительный анализ с другими источниками энергии, в первую очередь с традиционными. Тем самым можно определить экономическую целесообразность и эффективность использования иного вида возобновляемых источников энергии в данном регионе страны.

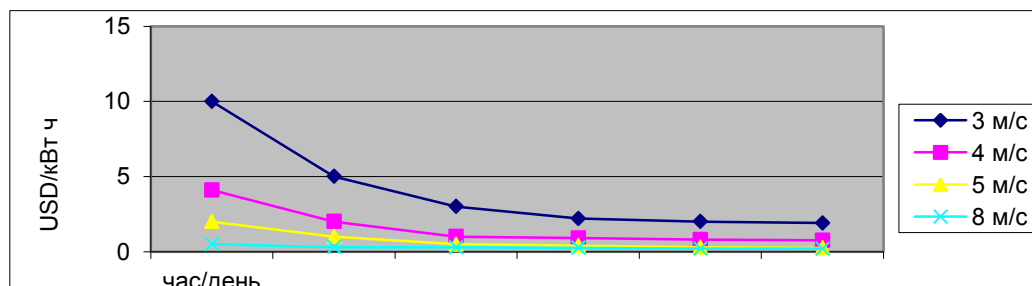


Рис. 2. Изменение скорости ветра и удельная стоимость электроэнергии

Fig. 2. Change of wind speed and specific cost of the electric power

**Экологические выгоды от внедрения ветроэнергетической установки.** Выражение выгода определяет экономическую эффективность и не учитывает влияние вводимых установок на окружающую природу, социальные условия жизни и деятельности человека, в целом это определяется экологическими условиями. Возобновляемые источники энергии по сравнению с традиционными обладают важными преимуществами, заключающимся в возможности обеспечения экологической чистоты вводимых установок, а в некоторых случаях – возможности улучшения экологической обстановки.

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, причем 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 в различных регионах может изменять величину, становиться больше или меньше единицы [11-19].

Как видно из рисунка 3 ожидаемые сокращения выбросов различных вредных веществ в окружающую среду в Туркменистане при средней годовой выработке ветровой энергии  $300 \text{ Вт/м}^2$  с удельной мощностью на  $1 \text{ кв.м}$  и при эквиваленте расхода топлива –  $0,12 \text{ Кг/год}$ , то сокращение загрязняющих веществ составит:  $\text{SO}_2$  –  $2,5 \text{ кг/год}$ ;  $\text{NO}_x$  –  $1,4 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CO}$  –  $0,2 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CH}_4$  –  $0,4 \text{ кг/год}$ ;  $\text{CO}_2$  –  $191,8 \text{ кг/год}$ ; твердых веществ –  $0,3 \text{ кг/год}$ .

Таким образом, с учетом региональных факторов стоимости топлива и регионального экологического фактора срок окупаемости и экономический эффект использования ветроэлектрической установки в общем случае определяются включением коэффициента регионального экологического фактора. На рис. 3 представлена гистограмма, а в таблице 1 значения экологического потенциала ветроустановки вырабатываемой энергии  $100$  и более  $1000 \text{ Вт/м}^2$  и возможность сокращения загрязняющих веществ от выработки с одного квадратного метра ветрового потока [13,14].

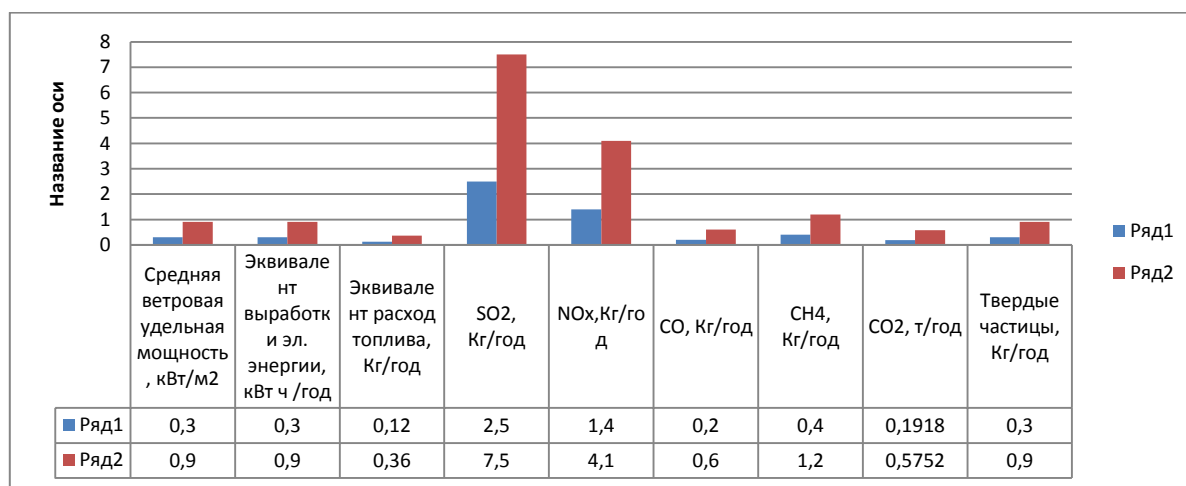


Рис.3. Гистограмма экологического потенциала выработки ветроэнергии  $300 \text{ Вт}$  и  $900 \text{ Вт}$  с  $1 \text{ м}^2$

Fig. 3. The histogram of ecological potential of the development of wind power of  $300 \text{ W}$  and  $900 \text{ W}$  with  $1 \text{ m}^2$

### 3. ГИС экологическая карта для конечного пользователя

Конечной задачей разработанной ГИС технологии является формирование доброжелательной информационной среды для пользователя – наглядная экологическая карта.

Информационно-экологическая картографическая среда сформировалась в результате созданных баз данных и математических расчетов приведенных на рисунке 4 и модифицировалась в процессе опытной эксплуатации, в соответствии с уточняющимися требованиями разработана приведенная экологическая карта.



Таблица 1

Экологический потенциал от ветроэнергетических ресурсов с квадратного метра в Туркменистане

Table 1

**Ecological potential of wind power resources from a square metre in Turkmenistan**

кВт/кв.м	SO <sub>2</sub> т/год	NO <sub>x</sub> т/год	CO т/год	CH <sub>4</sub> т/год	CO <sub>2</sub> т/год	Твердые Вещества т/год
100	0,000831	0,000448	5,81395E-05	0,000122	0,063953	8,72093E-05
200	0,001663	0,000895	0,000116279	0,000244	0,127907	0,000174419
300	0,002494	0,001343	0,000174419	0,000366	0,19186	0,000261628
400	0,003326	0,001791	0,000232558	0,000488	0,255814	0,000348837
500	0,004157	0,002238	0,000290698	0,00061	0,319767	0,000436047
600	0,004988	0,002686	0,000348837	0,000733	0,383721	0,000523256
700	0,00582	0,003134	0,000406977	0,000855	0,447674	0,000610465
800	0,006651	0,003581	0,000465116	0,000977	0,511628	0,000697674
900	0,007483	0,004029	0,000523256	0,001099	0,575581	0,000784884
1000	0,008314	0,004477	0,000581395	0,001221	0,639535	0,000872093

Учитывая вышеназванные поставленные задачи и созданные базы данных по регионам страны построена однокомпонентная ГИС экологическая карта сокращения CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> от

ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра (см. рисунок 4).

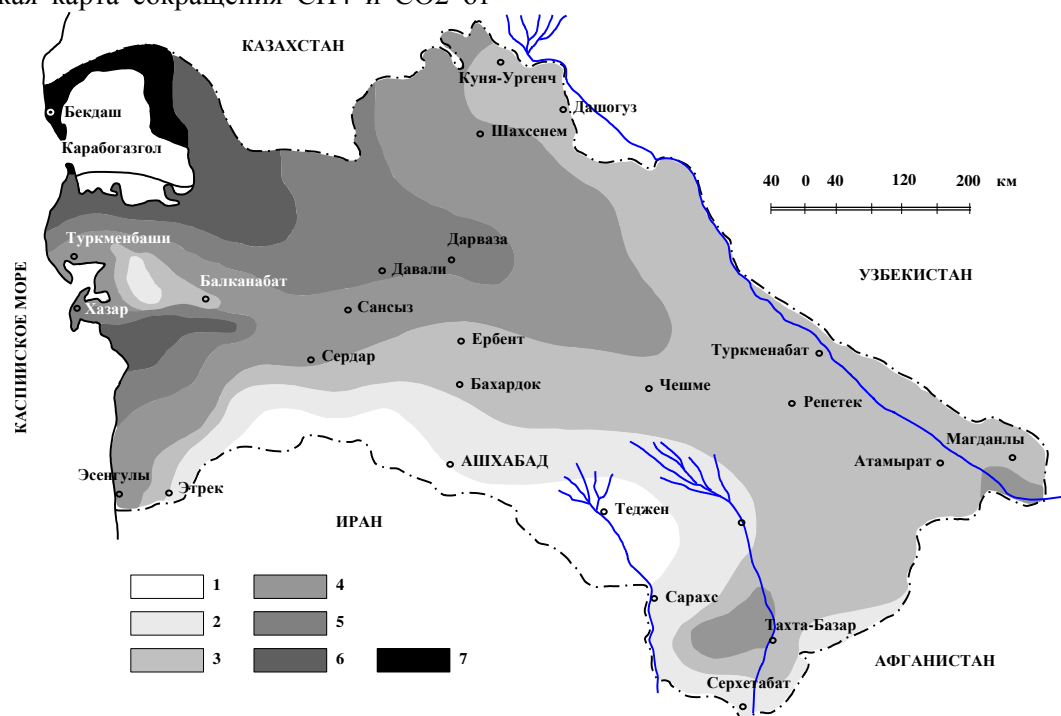


Рис. 4. ГИС экологическая карта сокращения CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> от ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане с квадратного метра. 1 – районы, где энергия воздушного потока с 90%-ной обеспеченностью и сокращения CO<sub>2</sub> составит менее 0,000122 и 0,063953 т/ в год; 2 – от 0,000122 и 0,063953 до 0,000244 и 0,127907; 3 – от 0,000366 и 0,19186 до 0,000488 и 0,255814; 4 – от 0,000488 и 0,255814 до 0,000733 и 0,383721; 5 – от 0,000733 и 0,383721 до 0,001099 и 0,575581; 6 – от 0,001099 и 0,575581 до 0,001221 и 0,639535; 7 – более 0,001221 и 0,639535 .

Fig. 4. The GIS ecological map of reduction of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from wind power resources in Turkmenistan from a square metre. 1 – areas where the energy of an air stream with 90 % supply and reduction of CO<sub>2</sub> will make less than 0.000122 and 0.063953 tn a year; 2 – from 0.000122 and 0.063953 to 0.000244 and 0.127907; 3 – from 0.000366 and 0.19186 to 0.000488 and 0.255814; 4 – from 0.000488 and 0.255814 to 0.000733 and 0.383721; 5 – from 0.000733 and 0.383721 to 0.001099 and 0.575581; 6 – from 0.001099 and 0.575581 to 0.001221 and 0.639535; 7 – more than 0.001221 and 0.639535

**Эмпирическая повторяемость скорости ветра.** В Туркменистане до настоящего времени оценка возможности использования энергии ветра основывалась на исследованиях крупномасштабного территориального распределения скорости и удельной мощности ветрового потока [4-6], по данным наблюдений за скоростью ветра на сети метеостанции (МС) [4]. На основе полученных баз данных МС были выделены районы наиболее перспективные с точки зрения практического использования энергии ветра.

В результате математической обработки фактических материалов по 72 МС Туркменистана были вычислены статистические характеристики эмпирических распределений скорости ветра и по ним найдены уравнения 3-х типовых режимов повторяемости скорости ветра:

Режим повторяемости скорости ветра, характерный для побережья Каспийского моря (Хазар, Карабогазгол) может быть представлен зависимости в промилях (%):

$$t_i = 1571 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}} e^{-0.75 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{2,0}} \quad (1)$$

Режим повторяемости скорости ветра на равнинной территории пустыни Каракумы:

$$t_i = 1258 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{0,45} e^{-0.87 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{1,45}} \quad (2)$$

Режим повторяемости скорости ветра в юго-восточной части Туркменистана (Бадхыза, верховьях Амударьи):

$$t_i = 1017 \frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}} \cdot \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{0,03} e^{-0.99 \left(\frac{\mathcal{G}_i}{\mathcal{G}}\right)^{1,03}} \quad (3)$$

Из уравнений (1-3) для всех трех типов вычислены повторяемости для  $\bar{\mathcal{G}}$  от 2,0 до 8,0 м/с через 0,2 м/с и получены значения в целых промилях для каждой скорости ветра  $\mathcal{G}_i$  от 0 до 25 м/с.

**Заключение.** Стремление человечества к улучшению условий жизни начинает приводить к изменению среды обитания. В то же самое время ответ на вызовы последних десятилетий лежит, что называется, на поверхности. Мы достигли того уровня знаний, когда энергию, столь необходимую для сбалансированного существования и движения вперед, можно добывать без нанесения вреда окружающей нас миру, и использовать с гораздо большей эффективностью, чем это делается сегодня. Говоря языком экономики, человечество может и должно честно и ответственно делить мировой

экологический рынок со всеми видами и формами жизни на Земле. Вопросы развития возобновляемых источников энергии актуальны и для Туркменистана, вступившего в стадию модернизации и инновационного роста.

Наиболее перспективными для размещения ветроэнергетических установок для страны является побережье Каспийского моря и участки их шельфов. Так как на шельфах морей удельная мощность ветрового потока достигает более 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а на побережьях 500-1000 Вт/м<sup>2</sup>, в то время как на удалении от побережий и в глубинных районах страны удельная мощность ветрового потока составляет 100-500 Вт/м<sup>2</sup>.

Из рассмотренных вышеизложенных позиций можно сделать следующие **выводы**:

1. В соответствии с разработанными ГИС технологиями и составленной экологической ветропотенциала картой и методическим подходом получены оценки эколого-экономической эффективности внедрения "новых" проектов по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. Приведенные результаты в таблицах и рисунках позволят оценить конкурентоспособность рассмотренных проектов по составлению проектно-сметную документацию для технико-экономического обоснования (ТЭО), а также относительно продажи квот в регионе и проранжировать их по степени привлекательности для инвесторов, заинтересованных в получении квот по сокращению выбросов для экологического бизнеса.

2. Представленные эмпирические расчеты (1-3), составленная карта экоэнергетических ресурсов использования ветроэнергетических установок на территории Туркменистана, будут эффективным, доступным средством энергосбережения и обеспечение экологической безопасности окружающей среды местности.

3. При средней годовой выработке ветровой энергии 900 Вт/м<sup>2</sup> с удельной мощностью на 1 кв.м и при эквиваленте расхода топлива – 0,36 кг/год, сокращение вредных выбросов составит: SO<sub>2</sub> – 7,5 кг/год; NO<sub>x</sub> – 4,1 кг/год; CO – 0,6 кг/год; CH<sub>4</sub> – 1,2 кг/год; CO<sub>2</sub> – 575,2 кг/год; твердых веществ – 0,9 кг/год см.

Составленная ветроэнергетическая карта дает количественную оценку ветроэнергораспределения ресурсов; используя ее, можно подсчитать энергетические, экономические ресурсы пастбищных районов на территории Туркменистана. Например, годовой экономический эффект от комбинированного использования гелиоветроэнергетических систем

теплохладоснабжения дома в сельской местности площадью 150 м<sup>2</sup> составит 0.4 тыс. долларов и экономит на душу внесения 180-200 кг.у.т. За счет ветроагрегата можно удовлетворить от 40%-85% энергопотребления.

#### Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. А.: Туркменская государственная издательская служба, 2010.
2. Бабаев А.Г. и др. Физическая география Туркменистана. Учебное пособие А.: Туркменская государственная издательская служба, 2014.
3. Дьяченко Н.В. Использование ГИС-технологий URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
4. Дурдыев А.М., Пенджиев А.М. Снижение энергетической антропогенной нагрузки на климатическую систему Туркменистана с помощью нетрадиционных источников энергии // Мат-лы межд. симп. по изменению климата. М., 2003.
5. Колодин М.В. Энергетические ресурсы Каракумов. // В кн. Пустыня Каракумы и пустыня Тар. Ашхабад: Ылым, 1992, с. 157-171.
6. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблемах окружающей среды. М., Наука, 1982, 320 с.
7. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. Москва, 1998.
8. Нефедова Л.В. Структура базы данных по малой гидроэнергетике в рамках разработки ГИС «Возобновляемые источники энергии России» // Труды 6-й межд. Науч.-техн. конф. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 314-322.
9. Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю. Геоинформационные системы по возобновляемой энергетике // Труды 6-й межд. Науч.-техн. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 314-322.
10. Пенджиев А.М. Геоинформационная технология использования возвратных вод Туркменского озера «Алтын асыр» // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2014. № 13. С 129-150.
11. Пенджиев А.М. Изменение климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок. Международное изд-во: LAMBERT Academic Publishing / Германия, 2012. 168.
12. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. Международное изд-во: LAMBERT Academic Publishing / Германия, 2012. 226 с.
13. Пенджиев А.М. Эффективность использования ветроэлектростанций в Туркменистане // Проблемы освоения пустынь №1, Ашхабад: 2004, стр. 20-25.

14. Пенджиев А.М. Экоэнергетические ресурсы ветровой энергии в странах содружества независимых государств // Альтернативная энергетика и экология – ISJAEЕ. 2013. № 5. С. 129-150.

15. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (обобщение статей) // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 08 (148) 2014. С. 45-78.

16. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 10 (78) 2009. с142-148.

17. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетика и ее экологический потенциал в Туркменистане // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 9 (77) 2009. С.131-139.

18. Пенджиев А.М. План действия и стратегия внедрения в возобновляемую энергетика // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» № 16 (138) 2013. С.39-60.

19. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетика в Туркменистане. Монография. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.

20. Федоров М.П., Романов М.Ф. Математические основы экологии. СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. 156 с.

21. Шефтер Я.И. Использование энергия ветра. Энергоиздат, М.1990.

22. <http://www.gis.su>

#### References

1. Berdymukhamedov G.M. State regulation of socio-economic development of Turkmenistan. Volume 1. A.: The Turkmen State Publishing Service, 2010.
2. Babayev A.G. et al. Physical Geography of Turkmenistan. Tutorial A.: The Turkmen State Publishing Service, 2014.
3. Dyachenko N.V. Using GIS technology URL: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>.
4. Durdyev A.M., Penjiyev A.M. Reducing energy anthropogenic load on the climate system of Turkmenistan using alternative energy sources // Materials of Int. Symp. on Climate Change. Moscow, 2003.
5. Kolodin M.V. Energy resources Karakum // In kn. Karakum Desert and the Thar Desert. Ashgabat: Ylym, 1992, p. 157-171.
6. Marchuk G.I. Mathematical modeling in environmental issues. Nauka, Moscow, 1982, 320 p.
7. Lozanovskii I.N., Orlov D.S., Sadovnikov L.K. Ecology and protection of the biosphere by chemical pollution. Moscow, 1998.
8. Nefedova L.V. The database structure for small hydropower development in the framework of GIS "Renewable Energy of Russia" // Proceedings of the 6th Int. Scientific and engineering. Conf. "Energy supply and energy efficiency in agriculture." Part 4: M.: GNU VIESH, 2008, pp 314-322.
9. Nowakowski. B.A., Prasolova A.I., Kiselev S.,

Rafikova J.J. Geographic Information System for Renewable Energy // Proceedings of the 6th Int. Scientific and engineering. "Energy supply and energy efficiency in agriculture." Part 4: M.: GNU VIESH, 2008, pp 314-322.

10. Penjiyev AM Geoinformation technology is the use of return waters "Altyn Asyr" Turkmen lake // Alternative Energy and Ecology - ISJAEE. 2014. № 13. p. 129-150.

11. Penjiyev A.M. Climate change and the possibility of reducing anthropogenic pressure. International Publishing House: LAMBERT Academic Publishing / Germany, 2012. p. 168.

12. Penjiyev A.M. Ecological problems of desert development. International Publishing House: LAMBERT Academic Publishing / Germany, 2012. 226 p.

13. Penjiyev A.M. Efficiency vetroelektroustanovok in Turkmenistan // Problems of Desert №1, Ashgabat: 2004, pp 20-25.

14. Penjiyev A.M. Ecoenergy wind energy resources in the countries of the Commonwealth of Independent States // Alternative Energy and Ecology - ISJAEE. 2013. № 5. p. 129-150.

15. Penjiyev A.M. Renewable energy and ecology (compilation of articles) // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 08 (148) 2014, p. 45-78.

16. Penjiyev A.M. The Clean Development Mechanism: energy efficiency priorities in Turkmenistan //

International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 10(78) 2009, p. 142-148.

17. Penjiyev A.M. Prospects for renewable energy and its environmental potential in Turkmenistan // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 9 (77) 2009, p. 131-139.

18. Penjiyev A.M. The action plan and implementation strategy in renewable energy // International Scientific Journal "Alternative energy and ecology» № 16 (138) 2013, p. 39-60.

19. Strebkov D.S., Penjiyev A.M., Mamedsahatov B.D. The development of solar energy industry in Turkmenistan. Monograph. M.: GNU VIESH 2012.

20. Fedorov M.P., Romanov M.F. Mathematical basics of ecology. SPb.: SPbGTU Publishing, 1999. 156 p.

21. Shefter Ya. The use of wind energy. Energoiedat, M. 1990.

22. <http://www.gis.su>

**Пенджиёв Ахмет Мырадович**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корр. РАЕ, академик МАНЭБ, доцент кафедры Автоматизация производственных процессов

**Akhmet M. Penjiyev**, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Department of Automation of production processes