

УДК 551.55, 620.91

Носкова Елена Викторовна
Elena Noskova



ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

ASSESSMENT OF WIND ENERGY POTENTIAL AT THE TRANBAIKAL TERRITORY

Важнейшей составляющей развития любой отрасли энергетики является определение ее ресурсного потенциала, выявление наиболее эффективных «месторождений», определение возможных объемов использования данного источника энергии. Поэтому в данной работе оцениваются возможности включения в общий энергетический баланс Забайкальского края ветроэнергетических ресурсов, так как они имеют значительную вероятностную составляющую прихода энергии.

Для анализа в работе использованы данные Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 1990 по 2013 гг. о средних месячных скоростях ветра, повторяемости различных градаций скорости ветра на 26 метеостанциях, расположенных в Забайкальском крае. Для анализа также использованы данные об оценке защищенности местоположения станции по румбам по классификации В.Ю. Милевского из справочника по климату СССР и научно-прикладного справочника по климату СССР. Построение карты пространственного распределения по территории Забайкальского края плотности технического ветроэнергетического потенциала производилось в программе ArcGIS.

Сделаны выводы о том, что Забайкальский край относится к малоперспективным районам для непрерывного использования ветровой энергии в течение всего года. Для более эффективного использования ветровой энергии необходимо ветровые приемники ВЭУ располагать на 30...100 м и более. Ветроустановки малых мощностей могут быть применены для обеспечения электроэнергией фермерских хозяйств. Эксплуатация же ветроустановок больших мощностей может быть экономически неэффективной из-за малых часов использования и большой стоимости.

The most important component of any energy sector is to determine its resource potential, identify the most effective «fields», define a possible volume of energy source use. Therefore, in this study, the possibility of inclusion in the overall the energy balance of wind energy resources at the Transbaikal Territory is used, as these resources are a significant component of the probability of energy outcome.

For the analysis the data of the Transbaikal Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring for the period from 1990 to 2013 is used in this work. It concerns the average monthly wind speeds, the frequency of different gradations of wind speed at 26 meteorological stations located in the Transbaikal region. For the analysis the data on the assessment of the security station locations according with rumba classification by V.Yu. Milevsky, taken from the Climate Handbook, Scientific and Applied Climate Handbook were also used. Mapping of spatial distribution on the territory of Transbaikal Territory of density technical wind energy potential was made in the program ArcGIS.

The conclusions that the Transbaikal Territory refers to maloper-promis- areas for continuous use of wind energy throughout the year are made. For more efficient use of wind energy wind turbine receivers must placed on 30-100 meters or more. Low power wind turbines can be used to provide electricity to farms. Operation of the same high-power wind turbines can be economically inefficient due to the small hours of use and great value.

The assessment results of wind energy potential can be used in future planning of economic development of the Transbaikal Territory

Результаты оценки ветроэнергетического потенциала могут использоваться в перспективном планировании экономического развития территории Забайкальского края

Ключевые слова: Забайкальский край, ветроустановка, потенциальные ресурсы, номинальная мощность, технический ветропотенциал

Key words: Transbaikal Territory, wind turbine, potential resources, power rating, technical wind potential

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Забайкальского края, грант 14-05-98005-р_сибирь_a

Ветроэнергетические климатические ресурсы — ресурсы энергии ветра, которые могут быть использованы для получения электрической энергии.

Оценка ветроэнергетических ресурсов страны или некоторого района представляет важную задачу, решение которой позволит принять участие в перспективном планировании экономического развития данной территории. Поэтому в данной работе оцениваются возможности включения этих ресурсов в общий энергетический баланс Забайкальского края.

В работе использованы данные Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 1990 по 2013 гг. о средних месячных скоростях ветра, о повторяемости различных градаций скорости ветра на 26 метеостанциях, расположенных в Забайкальском крае. Для анализа также использованы данные об оценке защищенности местоположения станции по румбам по классификации В.Ю. Милевского из справочника по климату СССР [4] и научно-прикладного справочника по климату СССР [10]. Построение карты пространственного распределения по территории Забайкальского края плотности технического ветроэнергетического потенциала производилось в программе ArcGIS.

Опорные метеостанции, данные которых используются для оценки фона режимных особенностей ветра, должны удовлетворять следующему требованию:

класс открытости станции (по В.Ю. Милевскому) должен быть не менее 6б [3]. Он характеризует степень открытости измерительного прибора ветровому потоку по каждому румбу направлений.

Общий класс открытости станции $K_{общ.}$ определяется по данным из [4, 10] по формуле [2]

$$K_{общ.} = \sum_1^8 K_{табл.} \cdot \Delta\Phi, \quad (1)$$

где $K_{табл.}$ — табличный класс открытости по каждому румбу направлений ветра;

$\Delta\Phi$ — табличное значение повторяемости ветра за год данного румба, %.

Поскольку ветроэнергетические ресурсы определяются для условий открытой местности, на которой может предполагаться строительство ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветроэнергетических станций (ВЭС), то среднюю многолетнюю скорость ветра u приводят к сравнимым условиям (условиям открытой ровной местности и высоте 10 м от поверхности земли) с помощью поправочных коэффициентов на открытость K_o и высоту K_h :

$$\bar{u} = u \cdot K_o \cdot K_h, \quad (2)$$

где \bar{u} — средняя многолетняя скорость ветра, приведенная к сравнимым условиям.

Выражение для K_o имеет вид [2]

$$K_o = \sum_1^8 \frac{K_{макс.}}{K_{табл.}} \cdot \Delta\Phi \quad (3)$$

где $K_{макс.}$ — максимальный коэффициент открытости, который для удаленных от бе-

реговой линии районов принимается равным 7.

Выражение для K_h , учитывающего изменение среднегодовой скорости ветра при переходе от высоты ветроизмерительного прибора H к заданному уровню h , может быть представлено в виде [1]

$$K_h = \left(\frac{H}{h}\right)^{0,6u^{-0,77}} \quad (4)$$

В целом по территории Забайкальского края скорости ветра невелики [6]. Ее наименьшие значения наблюдаются в северных районах края. Низкие значения среднегодовой скорости ветра отмечаются также в западных районах. Увеличивается она ближе к центральной части региона. Наибольшая скорость ветра наблюдается в южных и юго-восточных районах.

Энергетические ресурсы подразделяются на два вида: потенциальные и технические. Под потенциальными ресурсами (природными) подразумевается мощность N_e , рассчитанная при условии, что вся ветровая энергия полностью утилизируется ветроустановкой (ВЭУ), без потерь. N_e для конкретных градаций скорости ветра рассчитывается по формуле [9]

$$N_{e(град)} = \frac{0,613u^3 \cdot f(u)}{100}, \quad (5)$$

где $f(u)$ — дифференциальная повторяемость скорости ветра по градациям.

По территории региона на высоте установки анеморумбометра (10 м) значения $N_{e(град)}$ находятся в диапазоне 6-95 Вт/м². Это связано с тем, что в крае преобладает повторяемость слабых ветров [5]. Среднее значение по краю — 35 Вт/м². Как выявлено ранее [7], пространственное распределение природных ветроэнергоресурсов сходно с распределением средней скорости ветра на территории региона.

С увеличением высоты значение $N_{e(град)}$ возрастает, так как скорость ветра с высотой увеличивается по степенному закону [1]. Так, на высоте 50 м осредненная величина потенциальных ветровых ресурсов составляет уже около 300 Вт/м², а на 100 м — более 1000 Вт/м².

Так как величина $N_{e(град)}$ не учитывает потери преобразования, то является верхним пределом запасов ветровых ресурсов. Поэтому для оценки реального ветропотенциала необходима оценка технических ветроэнергетических ресурсов.

Та часть потенциальных ветроэнергетических ресурсов, которая может быть использована для целей получения ветровой электроэнергии с помощью имеющихся в настоящее время технических средств, является техническими ветроэнергоресурсами.

В табл. 1 представлен ряд ветроэнергетических установок (ВЭУ) разной мощности (13...600 кВт) и их основные технические характеристики. Информация о ВЭУ взята с сайтов продавцов этих установок [8, 11, 12].

Таблица 1

Технические характеристики ВЭУ различных типов

| Характеристика | Марка агрегата | | | |
|--|----------------|--------------|---------------------|-------|
| | Euro Wind 10 | Euro Wind 20 | VETROX Arctic GE-50 | HW-43 |
| Установленная мощность $N_{ном}$, кВт | 13 | 26,5 | 50 | 600 |
| Диаметр ветроколеса D , м | 8 | 10 | 18 | 43,2 |
| Минимальная рабочая скорость ветра $u_{мин}$, м/с | 2 | 2 | 2,5 | 3 |
| Номинальная скорость ветра $u_{ном}$, м/с | 10 | 12 | 9 | 14 |
| Максимальная скорость ветра $u_{макс}$, м/с | 16 | 20 | 25 | 25 |
| Число лопастей ветроколеса | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Высота башни ВЭУ, м | 12 | 18 | 18 | 48,5 |

Технический ветроэнергетический потенциал определяется удельным значением годовой энергии $\mathcal{E}_{ВЭУ}$, которую можно получить при помощи определенной ВЭУ с 1 км² рассматриваемой территории [2]:

$$\mathcal{E}_{ВЭУ} = N_{ВЭУ} \cdot T_{исп.}, \quad (6)$$

где $N_{ВЭУ}$ – установленная (номинальная) мощность ВЭУ, кВт;

$T_{исп.}$ – годовое число использования установленной мощности ВЭУ, равное

$$T_{исп.} = T_{год} \cdot K_{исп.}, \quad (7)$$

где $T_{год} = 8760$ – число часов в году;

$K_{исп.}$ – коэффициент использования установленной мощности ВЭУ.

Согласно [2]

$$K_{исп.} = \sum_{u_0}^{u_{max.}} \bar{N}(u) \cdot df, \quad (8)$$

где $\bar{N}(u)$ – характеристика отдачи мощности.

Для запуска ВЭУ требуется определенное минимальное значение вращающего момента лопастей, которое соответствует некоторому минимальному значению скорости ветра на уровне лопастей $u_{мин.}$. При номинальной скорости ветра $u_{ном.}$ ветрогенератор вырабатывает номинальное (расчетное) количество энергии, которое равняется нулю при максимальной скорости ветра $u_{max.}$ (рис. 1).

Зависимость $\bar{N}(u)$ является специфической для каждой ветроэлектрической установки и должна входить в ее паспортные данные. В данной работе для ее определения использовались графики зависимости генерируемой мощности от скорости ветра на высоте оси ротора, указанные на сайтах продавцов ВЭУ [8, 11, 12].

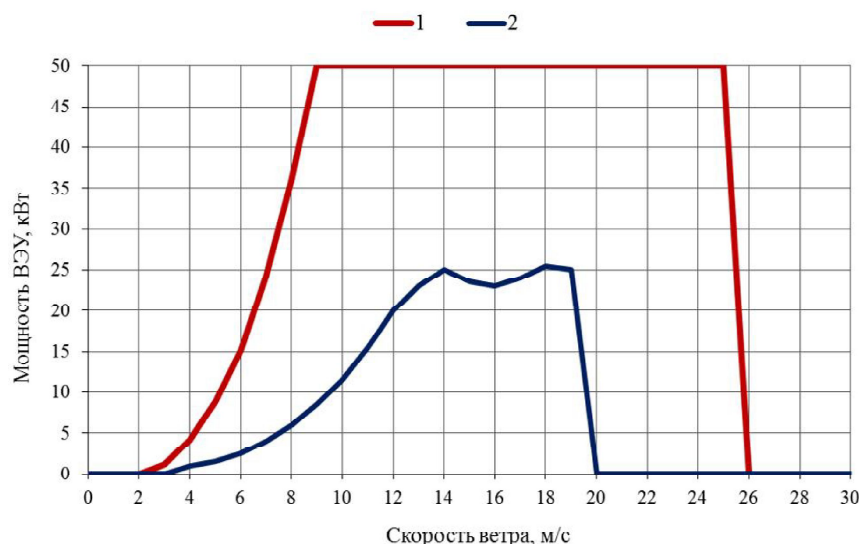


Рис. 1. Зависимость выходной мощности генератора ВЭУ от скорости ветра
1 – ВЭУ VETROX Arctic GE-50, 2 – ВЭУ Euro Wind 20

В табл. 2 приведена годовая выработка электроэнергии в зависимости от мощности ВЭУ в Забайкальском крае.

Из таблицы видно, что $K_{исп.}$ не превышает 25 %. Это указывает на то, что регион относится к малоперспективным районам для непрерывного использования ветровой энергии в течение всего года [9].

Для более эффективного использования ветровой энергии ветровые прием-

ники ВЭУ необходимо устанавливать на высотах более 50 м. Размещение ВЭУ на больших высотах может обеспечить их эффективную работу и дополнительные поступления электроэнергии. ВЭУ малых мощностей могут быть применены, например, для обеспечения электроэнергией фермерских хозяйств. Эксплуатация ВЭУ больших мощностей из-за малых часов использования и большой стоимости может

быть экономически неэффективной. Хотя ветровой энергии в регионе требует де-определение экономического потенциала тальной оценки.

Таблица 2

Годовая выработка электроэнергии ВЭУ

| № п/п | Метеостанция | $\mathcal{E}_{\text{ВЭУ}}$, кВт · ч | | | |
|--|-----------------------|--------------------------------------|--------------|---------------------|---------|
| | | Euro Wind 10 | Euro Wind 20 | VETROX Arctic GE-50 | HW-43 |
| 1 | Агинское | 9165 | 15268 | 74182 | 837369 |
| 2 | Акша | 12770 | 22542 | 94836 | 1038738 |
| 3 | Александровский Завод | 5035 | 8777 | 47581 | 607234 |
| 4 | Борзя | 8216 | 13823 | 68397 | 761522 |
| 5 | Зилово | 4257 | 9710 | 48594 | 799066 |
| 6 | Кайластуй | 9479 | 15499 | 73210 | 787979 |
| 7 | Калакан | 1126 | 3697 | 17060 | 547620 |
| 8 | Катугино | 1387 | 4914 | 21232 | 779358 |
| 9 | Красный Чикой | 1875 | 4397 | 22461 | 437021 |
| 10 | Кыра | 1868 | 4797 | 21527 | 471699 |
| 11 | Мангут | 8123 | 13338 | 63471 | 716814 |
| 12 | Менза | 2360 | 6466 | 28351 | 562880 |
| 13 | Могоча | 3266 | 6977 | 33836 | 535088 |
| 14 | Нерчинск | 6321 | 11284 | 52320 | 699854 |
| 15 | Нерчинский Завод | 8470 | 14000 | 63172 | 1063317 |
| 16 | Петровский Завод | 4807 | 9815 | 48541 | 727529 |
| 17 | Соловьевск | 9963 | 16281 | 75219 | 842173 |
| 18 | Средняя Олекма | 1900 | 6249 | 28098 | 723332 |
| 19 | Сретенск | 4285 | 7240 | 39659 | 534196 |
| 20 | Тунгокочен | 7013 | 15729 | 63430 | 931392 |
| 21 | Тупик | 3000 | 5064 | 28618 | 470983 |
| 22 | Улеты | 10497 | 18199 | 91842 | 1005885 |
| 23 | Усть-Карск | 1675 | 3166 | 19238 | 424173 |
| 24 | Чара | 2235 | 4366 | 26106 | 458472 |
| 25 | Черемхово | 5574 | 10345 | 56963 | 784242 |
| 26 | Чита | 4003 | 6509 | 37927 | 524767 |
| Среднее $\mathcal{E}_{\text{ВЭУ}}$, кВт · ч | | 5333 | 9940 | 47918 | 695104 |
| Среднее: $K_{\text{исп.}}$, % | | 5 | 4 | 11 | 13 |
| Среднее $T_{\text{исп.}}$, ч | | 410 | 375 | 958 | 1159 |

Важное значение имеет плотность энергия, которую можно получить с 1 км² технического ветропотенциала $\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}}$ рассматриваемой территории, определяется по формуле [2]. Плотность, или удельное значение годовой

$$\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}} = \frac{N_{\text{ВЭУ}} \cdot T_{\text{исп.}}}{100 D^2}, \quad (9)$$

$\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}}$ увеличивается с повышением мощности ВЭУ. Так, при использовании ВЭУ Euro Wind 10 и Euro Wind 20 эта величина в среднем по краю составляет менее $1,00 \frac{\text{млн. (кВт} \cdot \text{ч)}}{\text{км}^2}$. При эксплуатации ВЭУ VETROX Arctic GE-50 и HW-43 плотность составляет 1,48 и 3,72 $\frac{\text{млн. (кВт} \cdot \text{ч)}}{\text{км}^2}$ соответственно.

На рис. 2 приведено распределение плотности технического ветроэнергетического потенциала на высоте 48,5 м (ветрогенератор HW43), характерное для разных высот и различных типов ВЭУ.

Низкие значения $\mathcal{E}_{\text{техн.уд.}}$ отмечают на севере, северо-востоке и западе рассматриваемой территории, где отмечаются наименьшие скорости ветра. В районе метеостанций Нерчинский Завод (восточная часть региона), Улеты, Акша (центральный и южный районы) величина плотности ветротехнического потенциала наибольшая.

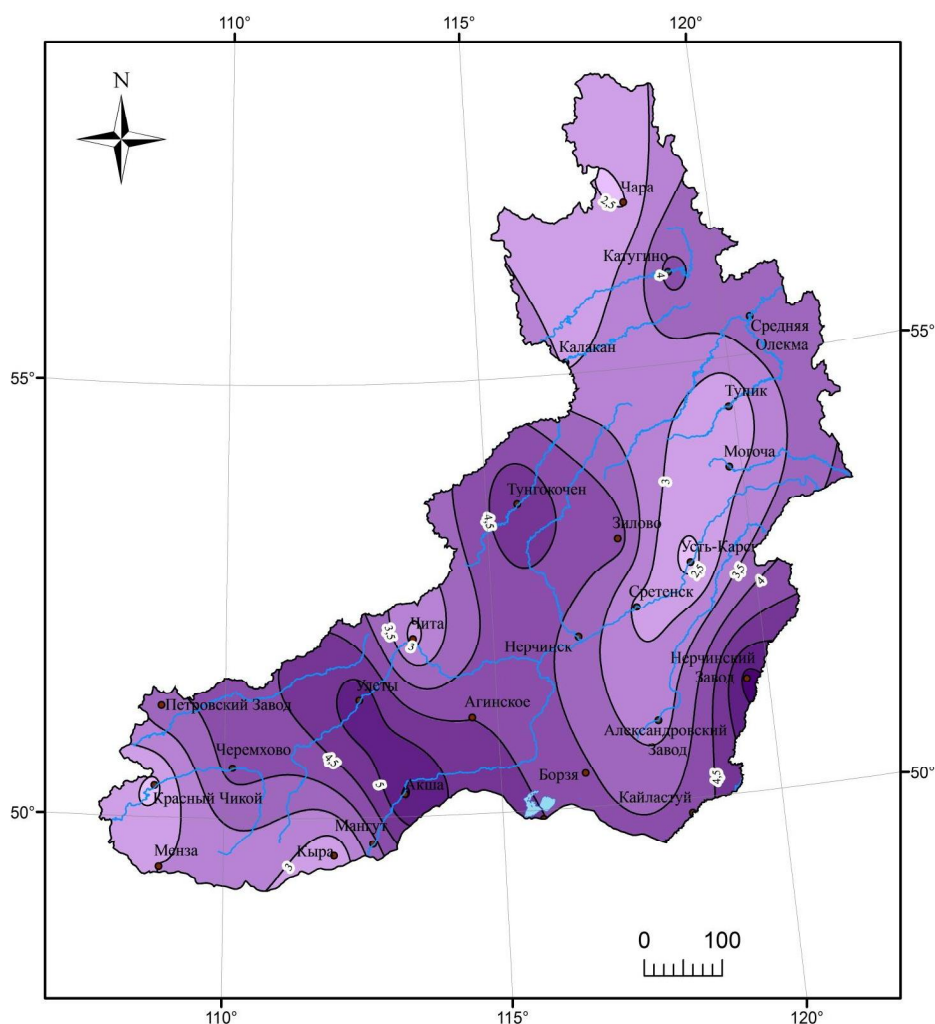


Рис. 2. Плотность технического ветроэнергетического потенциала
($H = 48,5 \text{ м}$), $\frac{\text{млн. (кВт} \cdot \text{ч)}}{\text{км}^2}$

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) Забайкальский край относится к малоперспективным районам для непрерывного использования ветровой энергии в течение всего года;

2) величина верхнего предела запасов ветровых ресурсов $N_{e(град)}$ возрастает с увеличением высоты, на высоте 100 м осредненная величина потенциальных ветровых ресурсов составляет более 1000 Вт/м²;

3) пространственное распределение плотности технического ветропотенциала $\mathcal{E}_{техн.уд.}$ выглядит следующим образом: наи-

меньшие значения $\mathcal{E}_{техн.уд.}$ отмечаются на севере, северо-востоке и западе края, наибольшие – на востоке, юге и в центре;

4) для более эффективного использования ветровой энергии необходимо ветровые приемники ВЭУ располагать на высотах более 50 м;

5) ВЭУ малых мощностей могут быть применены для обеспечения электроэнергией фермерских хозяйств; эксплуатация ВЭУ больших мощностей из-за малых часов использования и большой стоимости может быть экономически неэффективной.

Литература

1. Безруких П.П. Научно-техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлений использования возобновляемых источников энергии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2003.

2. Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Ч. 1. Определение ветроэнергетических ресурсов региона. СПб.: СПбГУ, 2003.

3. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок. РД 52.04.275-89. М.: Госкомгидромет, 1991. 57 с.

4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1-6. Вып. 23. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 550 с.

5. Носкова Е.В. Изменение скорости ветра по различным грациям в Забайкальском крае // Материалы Всеросс. молодежной науч.-практ. конф. с междунар. участием «Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды». Барнаул, 2014. С. 60-64.

6. Носкова Е.В., Обызов В.А. Ветровой режим Забайкальского края // Ученые записки Забайкальского государственного университета. 2015. № 1 (60). С. 115-121.

7. Носкова Е.В. Оценка удельной мощности ветрового потока на территории Забайкальского края // Труды Второй всеросс. науч. конф. с меж-

References

1. Bezrukikh P.P. Scientific, technical and methodological substantiation of resources and uses of renewable energy sources [Nauchno-tehnicheskoe i metodologicheskoe obosnovanie resursov i napravleniy ispolzovaniya vozobnovlyаемых isochnikov energii]: abstract dis. ... dr. tehn. sciences. Moscow, 2003.

2. Yelistratov V.V., Kuznetsov M.V. *Teoreticheskie osnovy netraditsionnoy i vozobnovlyаемoy energetiki* [Theoretical foundations of alternative and renewable energy]: Part 1. Assessment of wind energy resources in the region. St.-Petersburg: STU, 2003.

3. *Provedenie izyskatelskih rabot po otsenke vetroenergeticheskikh resursov oosnovaniya shem razmeshheniya i proektirovaniya vetroenergeticheskikh ustanovok. RD 52.04.275-89* (Carrying out survey work on the assessment of wind energy resources study layouts and projecting of wind turbines. RD 52.04.275-89). Moscow: Goskomgid-Romet, 1991. 57 p.

4. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR* (Research and Applied Climate Handbook). Ser. 3. Ch 1-6. Vol. 23. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 550 p.

5. Noskova E.V. *Materialy Vserossiyskoy molo-dezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezh-dunarodnym uchastiem «Sovremennye dostizheniya i problemy v oblasti izucheniya okruzhayushhey sredy»* (Proceedings of the All-Russian youth scientific and practical. conf. with int. participation «Modern achievements and challenges in the field of the environment»). Barnaul, 2014. P. 60-64.

6. Noskova E.V., Obyazov V.A. *Uchenye zapiski Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta* (Scientific notes of the Transbaikal State University), 2015, № 1 (60), pp. 115-121.

7. Noskova E.V. *Trudy Vtoroy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezh-dunarodnym uchastiem «Okruzhayushhaya sreda i ustoychivoe razvitiye*

дунар. участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». Т. 2. Казань: Изд-во «Отечество», 2013. С. 110-113.

8. ООО «Украинская альтернативная энергетика». Режим доступа: <http://veu.ae.net.ua/> (дата обращения 30.03.2015).

9. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 80 с.

10. Справочник по климату СССР. Ч. III. Вып. 23. Ветер. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 188 с.

11. Унитарное предприятие «АЭС-комплект». Режим доступа: <http://www.aes.by/> (дата обращения 30.03.2015).

12. ЭнергоСток. Режим доступа: <http://energystock.ru/> (дата обращения 30.03.2015).

regionov» (Proceedings of the Second All Russian scientific conf. with int. participation «Environment and sustainable development of the regions»). Vol. 2. Kazan: Publishing house «Otechestvo», 2013. P. 110-113.

8. ООО «*Ukrainskaya alternativnaya energetika*» («Ukrainian alternative energy») Available at: <http://veu.ae.net.ua/> (accessed 30.03.2015).

9. *Rekomendatsii po opredeleniyu klimaticheskikh harakteristik vetroenergeticheskikh resursov* [Guidelines for the climatic characteristics definition of wind energy resources]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 80 p.

10. *Spravochnik po klimatu SSSR* (USSR Climate Reference Book). Part III. Vol. 23. Wind. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968. 188 p.

11. *Unitarnoe predpriyatie «AES-komplekt»* (Unitary Enterprise «NPP-set») Available at: <http://www.aes.by/> (accessed 03.30.2015).

12. *EnergoStok* (EnergoStok) Available at: <http://energystock.ru/> (accessed 30.03.2015).

Коротко об авторе

Носкова Е. В., ассистент, каф. «Водное хозяйство и инженерная экология», Забайкальский государственный университет, мл. науч. сотрудник лаборатории региональной климатологии, ИПЭР СО РАН, г. Чита, Россия
elena-noskova-2011@mail.ru

Научные интересы: изменение климата, ветровой режим, ветроэнергетика

Briefly about the author

E. Noskova, assistant, Water Management and Engineering Ecology department, Transbaikal State University, Junior Researcher, Laboratory of Regional Climatology, INREC SB RAS, Chita, Russia

Scientific interests: climate change, wind conditions, wind

