

Зонирование территории Волгоградской области по потенциалу ветровой и солнечной энергетики для оценки перспектив использования гибридных энергетических комплексов

А. В. Холоденко ✉, П. С. Горбова, И. В. Усачева

Волгоградский государственный университет, Российская Федерация
(400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100)

Аннотация: Цель – оценка экологического и технического потенциала ветровой и солнечной энергетики на территории Волгоградской области для принятия решения о целесообразности использования совмещенных ветровых и солнечных энергетических систем на локальном уровне.

Материалы и методы. В работе рассмотрены ветровой и гелиопотенциал возобновляемой энергетики для муниципальных районов Волгоградской области. Создана частная балльная система оценки технического потенциала совмещенных энергетических комплексов, сочетающих ветрогенераторы и солнечные панели. На основе метеорологических и актинометрических данных ресурса NASA Power сделаны расчеты среднесуточных скоростей ветра и прихода солнечной радиации, составлены картограммы.

Результаты и обсуждение. Показано, что наибольшую эффективность системы гибридных энергетических комплексов (ГЭК) будут иметь в южных районах области, тогда как наименее обеспеченными являются северо-западные районы. Волгоград-Волжская агломерация, как промышленный и наиболее густонаселенный центр области, имеет относительно высокий балл потенциала ГЭК, что является благоприятным фактором для экологизации энергетического хозяйства. В целом технический потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) Волгоградской области невелик, но достаточен для обеспечения энергией небольших объектов. Использование ГЭК с ВИЭ как резервных мощностей возможно только в сочетании с топливными генераторами и накопителями энергии для минимизации энергетических и экономических рисков.

Выводы. Для эмпирической проверки результатов исследования целесообразно экспериментальное внедрение ГЭК на объектах хозяйственной деятельности в муниципальных районах, расположенных вдоль реки Волга, поскольку именно в данной местности наблюдается оптимальное сочетание как метеорологических, так и актинометрических характеристик.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридные энергетические комплексы, ресурсы возобновляемой энергетики, потенциал возобновляемой энергетики, зонирование по потенциалу возобновляемой энергетики.

Источник финансирования: Исследование поддержано грантом Президента РФ, проект № МК-2776.2022.1.6. (соглашение № 075-15-2022-597 от 06.05.2022 г.).

Для цитирования: Холоденко А. В., Горбова П. С., Усачева И. В. Зонирование территории Волгоградской области по потенциалу ветровой и солнечной энергетики для оценки перспектив использования гибридных энергетических комплексов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 3, с. 142-150. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/142-150>

ВВЕДЕНИЕ

В связи с нарастающей дестабилизацией глобального экологического равновесия, вызванной демографическим взрывом и наращиванием объемов производства, все большее значение приобретают вопросы рационализации природопользования.

Среди ключевых элементов рационального использования природных ресурсов можно выделить использование безотходной энергии. Использование альтернативных источников энергии – возможное решение проблемы гармонизации экономических и экологических интересов об-

© Холоденко А. В., Горбова П. С., Усачева И. В., 2023

✉ Холоденко Анна Викторовна, e-mail: a.v.kholodenko@bk.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

щества. Экологизация энергетики предполагает частичный отход от минерально-сырьевой гетеротрофности и приближение цикла «производство-потребление» к условной автотрофности за счет замены энергии ископаемого топлива на неисчерпаемую энергию природных сил [2].

Одной из целей Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года является диверсификация энергетического сектора, предполагающая совмещение возобновляемой и невозобновляемой энергетики, а также оптимальное сочетание централизованного и децентрализованного энергоснабжения [14]. Для успешной реализации намеченной цели в первую очередь необходимо изучение эколого-географического и технического потенциала возобновляемых источников энергии отдельных регионов страны для выявления наиболее продуктивных территорий [4]. Данная задача решается методом районирования при помощи специальных программ спутникового мониторинга [2].

В настоящем исследовании объектом выступает ресурсный потенциал ветровой и солнечной энергетики Волгоградской области. Цель исследования – оценка экологического и технического потенциала ветровой и солнечной энергетики на территории Волгоградской области для принятия решения о целесообразности использования совмещенных ветровых и солнечных энергетических систем на локальном уровне.

Оценка ресурсного потенциала проводилась расчетным методом на основе информации из базы данных NASA Power [15]. Оценка технического потенциала ветровых установок проводилась путем анализа зависимости мощности установки от скорости ветра и диаметра ветроколеса [1, 6, 9, 11]. Технический потенциал солнечных панелей определялся путем расчета выработки энергии в зависимости от инсоляции поверхности, мощности установки и времени года [7]. Оценка потенциала гибридных энергетических комплексов проведена по частной балльной системе, разработанной авторами применительно к данным по Волгоградской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Волгоградская область расположена на юго-востоке Восточно-Европейской равнины. Имеет протяженность более 400 км [5]. Климат – континентальный. Равнинный рельеф способствует свободному движению воздушных масс Сибирского антициклона – зимой, Атлантических

циклонов, суховеев со стороны территории Казахстана – летом. Таким образом, в осенне-зимний период преобладают ветра восточного направления, а в летне-весенний – западного и юго-западного. Приход суховеев летом сопровождается шквальным ветром 15-17 м/с. Ежегодная повторяемость штилей составляет 5-8%. Продолжительность солнечного сияния – 2100 часов на севере и 2300 часов на левобережье Волги. Наибольшее количество солнечных дней наблюдается летом и поздней весной [3, 10]. Среднегодовое значение продолжительности солнечного сияния в области – 2198 часов [10].

Среднегодовая скорость ветра в регионе колеблется в диапазоне 3-6 м/св зависимости от специфики микрорельефа (табл. 1).

Ранее районирование Волгоградской области по потенциалу возобновляемых источников энергии (ВИЭ) проводилось коллективом ученых МГУ им. М.В. Ломоносова (С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова и др.). По данным NASA Power (2019 год) среднегодовая скорость ветра на высоте 50 м в Волгоградской области составляет 6-7 м/с. Усредненный приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность зимой около 3,5 кВтч/м²в день, а летом 6-6,5 кВтч/м²в день. Исследование показало, что около 50% территории региона подходят по социально-экономическим и экологическим условиям для размещения возобновляемых источников энергии. Левобережная часть области нуждается в крупных солнечных и ветровых электростанциях (в связи с высокой плотностью населения и интенсивным потреблением энергии), тогда как для Правобережья перспективным направлением является внедрение единичных установок для бесперебойной подачи электричества [8].

Для расширенной оценки потенциала возобновляемых источников энергии нами выполнено районирование территории Волгоградской области по расчетным среднесезонным скоростям ветра на высоте 10 метров (м/с) и по среднесезонной иррадиации горизонтальной поверхности (кВтч/м²в день) за 2000-2020 годы для каждого муниципального района области.

Источником данных для расчетов послужила электронная база данных NASA Power [15].

Расчет технического потенциала ветроустановок производился по формуле (1) [1, 6, 9].

$$P_{эл} = \xi 0,5 \pi R^2 V_{ср}^3 \eta, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ). Зависит от конструкции и каче-

Характеристики ветрового режима Волгоградской области по данным метеостанций (составлено по [10])
 [Table 1. Characteristics of the wind regime of the Volgograd region according to weather stations
 (compiled according to [10])

Метеостанция / Weather station	Среднегодовая скорость ветра на высоте 10 метров, м/с / Average annual wind speed at a height of 10 meters, m/s	Число дней с сильным ветром в году / Number of days with strong winds per year
Урюпинск	3,8	29
Нижний Чир	4,0	22
Клетская	4,6	29
Серафимович	4,7	25
Красноярский	4,9	нет данных
Елань	3,8	нет данных
Рудня	3,8	21
Дубовка	4,2	нет данных
Камышин	5,8	43
Волгоград	6,3	60
Новоаннинский	2,6	нет данных
Даниловка	2,7	37
Иловля	3,3	21
Михайловка	3,3	нет данных
Ольховка	4,0	нет данных
Котельниково	3,7	17
Калач-на-Дону	3,8	39
Эльтон	3,9	нет данных
Быково	4,3	20
Палласовка	4,3	15

ства ветроустановки. Для агрегатов с небольшим количеством лопастей (2-3) значение коэффициента 0,42-0,46, в среднем 0,45. Для тихоходных устройств с большим числом лопастей – 0,27-0,33. В теории идеальных ветряков Бетца-Жуковского КИЭВ стремится к 0,99, хотя на практике такого достичь практически невозможно [11]; R – радиус ветроколеса, м; ρ – плотность воздуха (при нормальных условиях ρ = 1,2041 кг/м³); V_{ср} – средняя скорость ветра м/с; η – КПД электромеханического преобразователя энергии (η = 0,7-0,9).

Технический потенциал гелиоэнергетики рассчитывался по формуле (2) [7].

$$W = \frac{kPwE}{1000}, \quad (2)$$

где Pw – мощность единичной установки, Вт; E – значение инсоляции за выбранный период; k – коэффициент-поправка на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также учет наклонного падения лучей на поверхность модулей в течение дня (0,5 летом и 0,7 зимой).

Разработана трехбалльная система оценки эффективности гибридных энергетических комплексов, учитывающая экологические и технические параметры потенциала альтернативной энергетики региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшим потенциалом для ветровой энергетики обладают южные районы области: Котельниковский, Октябрьский, Чернышковский, а также Жирновский на севере области (рис. 1). На территории данных районов отмечена средняя скорость ветра более 4,6 м/с. Данное значение является приемлемым для размещения и окупаемости ветроэнергетических систем [12].

Низкие скорости ветра в северо-западных районах (Михайловка, Новоаннинский и др.) обусловлены понижениями рельефа на южной оконечности Окско-Донской низменности и экранирующим влиянием окружающих возвышенностей. Некоторое увеличение скорости ветра вдоль Волги вызвано температурным градиентом подстилающей поверх-

ности. Относительно невысокие скорости ветра восточных районов вызваны антициклональным типом погоды с небольшими перепадами давления.

Реальный технический потенциал ветроэнергетики при среднемноголетних постоянных скоростях ветра 4-5 м/с на высоте 10 метров весьма мал, но приемлем для пуска ветроустановок, большинство из которых начинает работу при 2,5 м/с (табл. 2).

Следует отметить, что спутниковые данные, полученные при помощи NASA Power, являются усредненными и не учитывают дни с сильным ветром, штилем и суточные изменения скорости ветра. В реальных условиях ветер не дует посто-

янно со скоростью 4-5 м/с, а усиливается и ослабевает в зависимости от изменения барических характеристик. Так, например, для Волгограда справедливо отметить, что значения среднегодовых скоростей ветра, полученные на метеостанциях Волгоградской области, показывают более высокие средние скорости ветра – 6,3 м/с (см. табл. 1). Данное значение указывает на перспективность использования ветроэнергетических систем промышленного масштаба [13].

Пересчет технического потенциала ВЭУ по среднегодовой скорости ветра 6,3 м/с для г. Волгограда представлен в таблице 3.

Таблица 2

Система оценки экологического и технического потенциала ветроэнергетики Волгоградской области
[Table 2. System for assessing the environmental and technical potential of wind energy in the Volgograd region]

Балл /Score	Скорость ветра на высоте 10 метров, м/с / Wind speed at a height of 10 meters, m/s	Диаметр ветроколеса, м / Wind wheel diameter, m	Рэл, Вт / Rel, W
1 (низкий)	4,40-4,50	1-3	15-135
		4-6	240-540
		7-9	735-1215
		≥10	≥1500
2 (средний)	4,51-4,61	1-3	17-145
		4-6	259-581
		7-9	791-1307
		≥10	≥1614
3 (высокий)	≥ 4,62	1-3	17-151 и более
		4-6	268-604 и более
		7-9	822-1359 и более
		≥10	≥1678

Таблица 3

Пересчет технического потенциала ветроэнергетических установок при среднегодовой скорости ветра 6,3 м/с для города Волгограда
[Table 3. Recalculation of the technical potential of wind power plants at an average annual wind speed of 6.3 m/s for the city of Volgograd]

Среднегодовая скорость ветра, м/с / Average annual wind speed, m/s	Диаметр ветроколеса, м / Wind wheel diameter, m	Рабочая мощность установки, Вт / Operating power of the installation, W
6,3	1-3	43-383
	4-6	681-1531
	7-9	2085-3446
	10	4254

Использование ветроколес диаметром больше 10 метров предполагает использование башен высотой от 20 метров и выше. Учитывая, что скорость ветра с высотой растет, можно говорить о перспективности использования малых ветроэнергетических установок (ВЭУ) для небольших частных предприятий и отдельных объектов внутри крупных, а также средневысотных сооружений в качестве дополнительного резервного источника элек-

тропитания в сочетании с дизельными генераторами и системой гибридного накопителя энергии.

Наибольшая иррадиация поверхности наблюдается на левом берегу Волги: Палласовский, Среднеахтубинский, Ленинский, Светлоярский районы. А также на территории городов Волгоград и Волжский. Здесь наиболее целесообразно размещение солнечных энергетических установок (рис. 2).

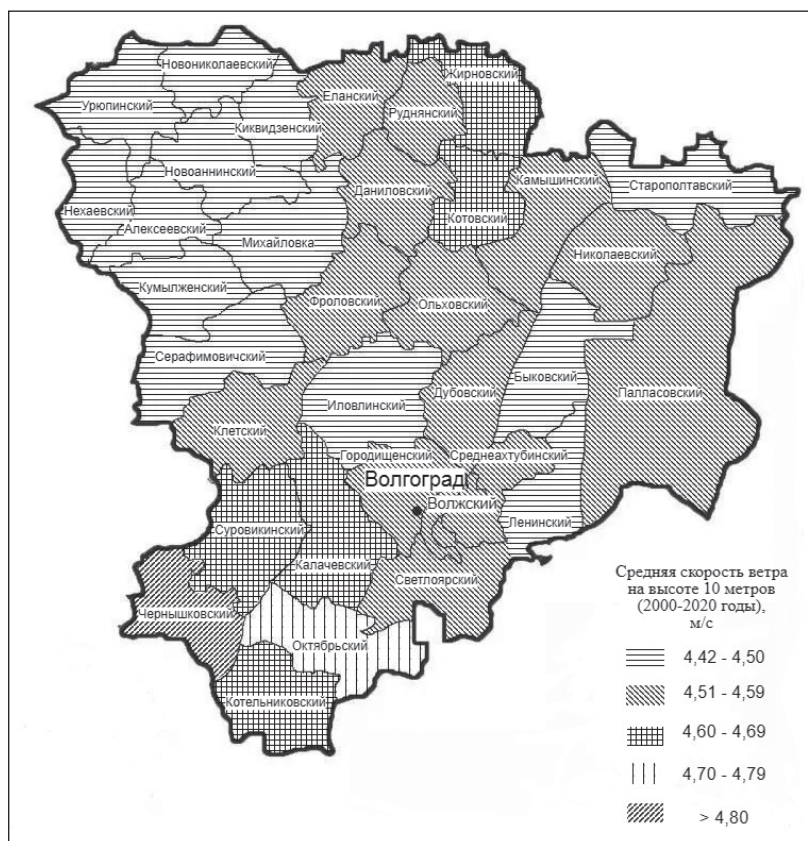


Рис. 1. Районирование Волгоградской области по ветропотенциалу
[Fig. 1. Zoning of the Volgograd region by wind potential]

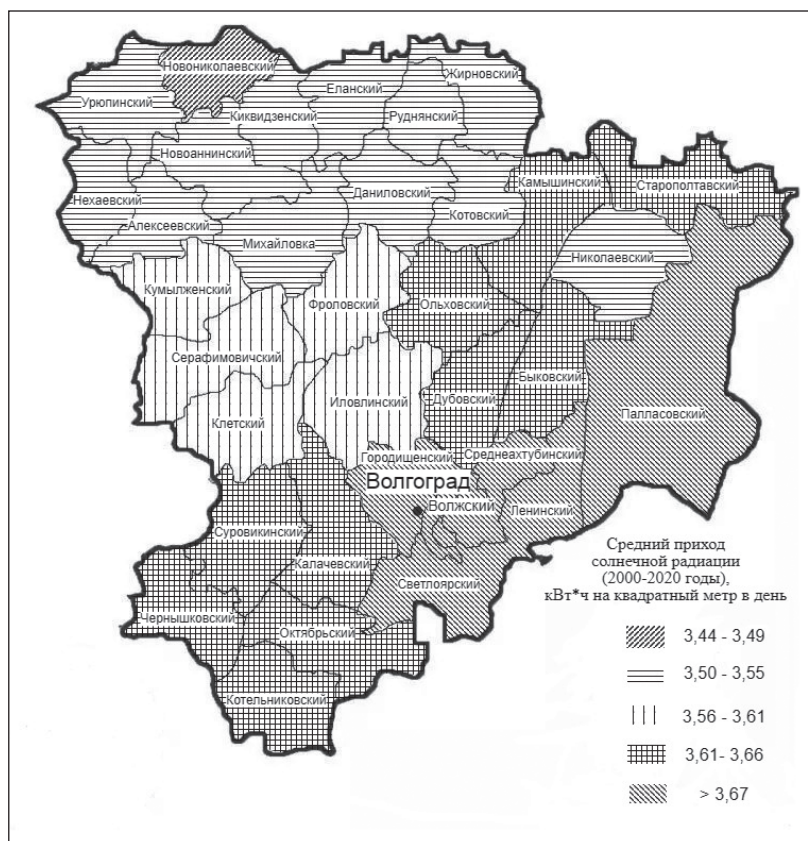


Рис. 2. Районирование Волгоградской области по гелиопотенциалу
[Fig. 2. Zoning of the Volgograd region according to solar potential]

Оценка потенциала гелиоэнергетики Волгоградской области представлена в таблице 4. Следует сделать ремарку, что результаты являются среднестатистическими. Не учитывается число

пасмурных дней, когда эффективность солнечных элементов значительно падает, и количество ясных дней, когда производительность гораздо выше усредненных значений.

Таблица 4

Система оценки экологического и технического потенциала гелиоэнергетики Волгоградской области [Table 4. System for assessing the environmental and technical potential of solar energy in the Volgograd region]

Балл /Score	Иррадиация, кВт*ч/м ² в день / Irradiation, kW*h/m ² per day	Фактическая выработка энергии (W) одной солнечной панелью с номинальной стандартной мощностью 300 Вт в месяц, кВт*ч / Actual energy production (W) of one solar panel with a nominal standard power of 300 W per month, kWh	Количество солнечных панелей для выработки 1000 кВт*ч в месяц / Number of solar panels to generate 1000 kWh per month
1 (низкий)	3,40 - 3,50	Зима: 21,4-22	47-45
		Лето: 15,3-15,8	65-63
2 (средний)	3,51 - 3,61	Зима: 22,1-22,7	45-44
		Лето: 15,8-16,2	63-62
3 (высокий)	≥ 3,62	Зима: ≥ 22,8	<44
		Лето: ≥ 16,3	< 61

Исходя из разработанной системы оценки потенциала ВЭУ и СЭУ, каждому муниципальному району были присвоены баллы ветрового

и солнечного потенциала и найдено среднее значение для гибридной энергетической системы (рис. 3).



Рис. 3. Картограмма эколого-технических возможностей использования гибридных энергетических комплексов на территории Волгоградской области (1 – низкий потенциал, 2 – средний, 3 – высокий)

[Fig. 3. Cartogram of environmental and technical possibilities of using hybrid energy complexes on the territory of the Volgograd region (1 – low potential, 2 – medium, 3 – high)]

Наименее обеспечены ветро- и гелиоресурсами северо-западные районы Волгоградской области (Новониколаевский, Урюпинский, Нехаевский, Новоаннинский, Михайловка, Киквидзенский, Алексеевский). Наиболее перспективными районами для внедрения ГЭК являются Калачевский, Суrowsикинский, Октябрьский, Котельниковский, Чернышковский районы.

Перекрестный анализ составленных картограмм показывает, что узловыми точками, где возможно и обосновано использование гибридных энергетических комплексов являются районы, расположенные вдоль Волги (Камышинский, Ольховский, Дубовский, Городищенский, Волгоград, Волжский), где скорости ветра и нисходящая солнечная радиация доступны для использования в энергоснабжении в равных долях. При необходимости система может быть дополнена дизельным генератором для обеспечения энергетической безопасности.

Таким образом, учитывая, что энергосистема Волгоградской области относится к промышленному типу с преобладанием предприятий металлургической и химической отраслей, расположенных в Волгограде и Левобережье, перспективно оснащать данные объекты гибридными энергетическими комплексами в качестве резервных генерирующих мощностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что Волгоградская область обладает относительно невысоким потенциалом возобновляемой энергии в абсолютном выражении, но достаточным для использования в качестве дополнительного источника энергоснабжения малых и средних объектов (частных домов, мастерских, отдельных цехов и т.д.) в сочетании с дублирующими топливными генераторами и накопителями энергии. Для более полного покрытия энергетических потребностей крупных промышленных объектов с учетом экономии пространства на размещение ГЭК требуются энергетические установки мегаваттных диапазонов, однако расположение производственных объектов в непосредственной близости к населенным пунктам или в их черте накладывает определенные ограничения на размер и количество энергетических установок, поэтому параллельно с общей оценкой для региона необходим детальный анализ пространственных, экологических и технических условий для каждого конкретного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ветроэнергетика: руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности* / В.М. Каргиев и др. Москва: ИнтерСоларЦентр, 2001. 62 с.

2. *География и рациональное использование возобновляемых источников энергии: коллективная монография* / под редакцией А.А. Соловьева. Москва: ИД «Энергия», 2019. 288 с.

3. *География и экология Волгоградской области: учебное пособие для средней школы – 2-е изд., перераб. и доп.* / авт. кол.; под общ. ред. проф. В.А. Брылева. Волгоград: Перемена, 2005. 260 с.

4. Дегтярев К.С. Географические основы возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энерговедение*, 2021, № 3, с. 25-42.

5. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2020 году» / ред. колл.: Е.П. Православнова и др.; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Ижевск: ООО «Принт», 2021. 300 с.

6. Мингалеева Р.Д., Бессель В.В. Методика оценки суммарной мощности ветроэлектростанции // *Территория Нефтегаз*, 2014, № 9, с. 82-86.

7. Нтавухоракомейе Н., Белов М.П. Техническая методика расчета мощности солнечных электростанций в тропическом климате, как в республике Бурунди // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, 2019, № 8, с. 66-74.

8. *Ресурсы возобновляемой энергетики: методы оценки и картографирование: коллективная монография* / С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова, Т.И. Андреевко и др. Москва: Наука, 2019. 194 с.

9. Савенко А.Е., Османов Э.Ш. Расчет реализуемой мощности и выработки электроэнергии одиночно стоящей ветроустановки // *Вестник КГЭУ*, 2019, № 1 (41), с. 68-78.

10. Сажин А.Н., Кулик К.Н. *Погода и климат Волгоградской области*. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 306 с.

11. Тихонова Е.Л. Размышления о коэффициенте использования энергии ветра // *Альтернативная энергетика и экология*, 2011, № 4, с. 34-37.

12. Чепенко В.Л. Промышленные ветроэнергетические станции: современное состояние и перспективы использования // *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2009, № 6, с. 17-22.

13. *Экологическая оценка возобновляемых источников энергии: учебное пособие* / под ред. Г.В. Пачурина. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2016. 236 с.

14. *Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р.* – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 08.07.2022). – Текст: электронный.

15. *Data Access Viewer // NASA POWER.* – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения 27.03.2022). – Текст: электронный.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 07.02.2023

Принята к публикации 04.09.2023

Zoning of the Volgograd Region Area by Wind and Solar Energy Potential to Assess the Prospects for the Use of Hybrid Energy Complexes

A. V. Kholodenko ✉, P. S. Cordova, I. V. Usacheva

*Volgograd State University, Russian Federation
(100, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062)*

Abstract: The purpose of this research is to assess the environmental and technical potential of wind and solar energy in the Volgograd region in order to make a decision on the feasibility of using combined wind and solar energy systems at the local level.

Materials and methods. The article considers the wind and solar potential of renewable energy for the municipal districts of the Volgograd region. A private scoring system has been created for assessing the technical potential of combined energy complexes that combine wind turbines and solar panels. Based on the meteorological and actinometric data of the NASA Power resource, calculations were made of the average annual wind speeds and solar radiation arrival, and cartograms were compiled.

Results and discussion. It is shown that the system of hybrid energy complexes will have the highest efficiency in the southern regions of the region, while the least well-off are the northwestern regions. The Volgograd-Volga agglomeration, as the industrial and most densely populated center of the region, has a relatively high potential score for hybrid energy complexes, which is a favorable factor for the greening of the energy sector. In general, the technical potential of renewable energy sources in the Volgograd region is small, but sufficient to provide energy to small facilities. The use of hybrid energy complexes with renewable energy sources as backup capacities is possible only in combination with fuel generators and energy storage devices to minimize energy and economic risks.

Conclusions. For empirical verification of the results of the study, it is advisable to experimentally introduce hybrid energy complexes at economic facilities in municipal areas located along the Volga, since it is in this area that the optimal combination of both meteorological and actinometric characteristics is observed.

Key words: renewable energy sources, hybrid energy complexes, renewable energy resources, renewable energy potential, zoning by renewable energy potential.

Funding: The study was supported by a grant from the President of the Russian Federation, project No. MK-2776.2022.1.6. (agreement No. 075-15-2022-597 dated May 6, 2022).

For citation: Kholodenko A. V., Gorbova P. S., Usacheva I. V. Zoning of the Volgograd Region Area by Wind and Solar Energy Potential to Assess the Prospects for the Use of Hybrid Energy Complexes. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2023, no. 3, p. 142-150. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/142-150>

REFERENCES

1. *Vetroenergetika: rukovodstvo po primeneniyu vetroustanovok maloj i srednej moshchnosti* [Wind Energy: Application Guide for Small and Medium Power Wind Turbines] / V.M. Kargiev i dr. Moscow: InterSolarCentre, 2001, 62 p. (In Russ.).
2. *Geografiya i racional'noe ispol'zovanie vozobnovlyaemyh istochnikov energii: kollektivnaya monografiya* [Geography and Rational Use of Renewable Energy Sources: Collective Monograph] / A.A. Solov'ev i dr. Moscow: Publishing house «Energy», 2019, 288 p. (In Russ.).
3. *Geografiya i ekologiya Volgogradskoj oblasti: uchebnoe posobie dlja srednej shkoly – 2-e izd., pererab. i dop.* [Geography and ecology of the Volgograd region: textbook. allowance for cf. school – 2nd ed., revised. and additional] / V.A. Brylev i dr. Volgograd: Change, 2005, 260 p. (In Russ.).
4. Degtyarev K.S. Geograficheskie osnovy vozobnovlyaemoj energetiki [Geographic bases of renewable energy]. *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie*, 2021, no. 3, pp. 25-42. (In Russ.).
5. *Doklad «O sostoyanii okruzhayushchej sredy Volgogradskoj oblasti v 2020 godu»* [Report «On the state

© Kholodenko A. V., Gorbova P. S., Usacheva I. V., 2023

✉ Anna V. Kholodenko, e-mail: a.v.kholodenko@bk.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

of the environment of the Volgograd region in 2020»] / E. P. Pravoslavnova i dr. Izhevsk: LLC «Print», 2021, 300 p. (In Russ.)

6. Mingaleeva R. D., Bessel' V. V. Metodika ocenki summarnoj moshchnosti vetroelektrostantsii [Methodology for estimating the total capacity of a wind farm]. *Territoriya Neftegaz*, 2014, no. 9, pp. 82-86. (In Russ.)

7. Ntavuhorakomeje N., Belov M. P. Tekhnicheskaya metodika rascheta moshchnosti solnechnyh elektrostantsij v tropicheskom klimate, kak v respublike Burundi [Technical methodology for calculating the capacity of solar power plants in a tropical climate, as in the Republic of Burundi]. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2019, no. 8, pp. 66-74. (In Russ.)

8. *Resursy vozobnovlyaej energetiki: metody ocenki i kartografirovaniye: kollektivnaya monografiya* [Renewable Energy Resources: Estimation Methods and Mapping: Collective Monograph] / S. V. Kiseleva, Yu. Yu. Rafikova, T. I. Andreenko i dr. Moscow: Nauka, 2019, 194 p. (In Russ.)

9. Savenko A. E., Osmanov E. Sh. Raschet realizuemoj moshchnosti i vyrabotki elektroenergii odinochno stoyashchej vetroustanovki [Calculation of the realized power and electricity generation of a single-standing wind turbine]. *Vestnik KGEU*, 2019, no. 1 (41), pp. 68-78. (In Russ.)

10. Sazhin A. N., Kulik K. N. *Pogoda i klimat Volgogradskoj oblasti* [Weather and climate of the Volgograd region]. Volgograd: VNIALMI, 2010, 306 p. (In Russ.)

11. Tihonova E. L. Razmyshleniya o koefficiente ispol'zovaniya energii vetra [Reflections on wind power

utilization factor]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 2011, no. 4, pp. 34-37. (In Russ.)

12. Chepenko V. L. Promyshlennyye vetroenergeticheskie stantsii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya [Industrial wind power stations: current state and prospects for use]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2009, no. 6, pp. 17-22. (In Russ.)

13. *Ekologicheskaya ocenka vozobnovlyaejmyh istochnikov energii: uchebnoe posobie* [Environmental Assessment of Renewable Energy: A Study Guide] / G. V. Pachurin i dr. Saint Petersburg: Publishing house «Lan», 2016, 236 p. (In Russ.)

14. *Energeticheskaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 iyunya 2020 g. № 1523-r* [Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated June 9, 2020 No. 1523-r]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (accessed 25.04.2022). – Text: electronic. (In Russ.)

15. *Data Access Viewer: NASA POWER*. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 27.03.2022).

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 07.02.2023

Accepted: 04.09.2023

Холоденко Анна Викторовна

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии и природопользования института естественных наук Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Российская Федерация, ORCID:0000-0001-9053-9373, e-mail: a.v.kholodenko@bk.ru

Горбова Полина Сергеевна

магистрант направления «Экология и природопользование» кафедры экологии и природопользования института естественных наук Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Российская Федерация, ORCID:0000-0002-7560-8382, e-mail:gorbova.polina@mail.ru

Усачева Ирина Витальевна

кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной информатики и математических методов в экономике института экономики и управления Волгоградского государственного университета, г. Волгоград, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5554-254X, e-mail: zepelin89@mail.ru

Anna V. Kholodenko

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof., Head of the Department of Ecology and Nature Management of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9053-9373, e-mail: a.v.kholodenko@bk.ru

Polina S. Gorbova

Master student of the direction "Ecology and nature management" of the Department of Ecology and Nature Management of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7560-8382, e-mail: gorbova.polina@mail.ru

Irina V. Usacheva

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. of the Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Institute of Economics and Management, Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5554-254X, e-mail: zepelin89@mail.ru