

Обзорная статья

УДК 620.95(470.44)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-314-330>

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА НА ЗЕЛЕНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. М. Опарина [✉], Н. А. Политаева, И. В. Ильин

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29*

Поступила в редакцию 19.05.2023 г., после доработки 22.06.2023 г., принята 24.06.2023 г., опубликована 22.09.2023 г.

Аннотация. Рассматриваются глобальные перспективы перехода на зеленую энергетику в Саратовской области. Изучены и систематизированы литературные данные о существующей ситуации в секторе альтернативной энергетики (ветряная энергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика) в Саратовской области. Данные были изысканы из наиболее актуальных и цитируемых публикаций в мировых базах данных Scopus, Google Scholar, РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) и среди статей средств массовой информации, опубликованных в сети ИНТЕРНЕТ. Описаны плюсы и минусы, а также общее влияние, оказываемое на окружающую природную среду каждого типа возобновляемой энергетики, существующего на территории Саратовской области. Большое внимание уделено влиянию ветроэнергетических установок и солнечных электростанций на окружающую природную среду. Установлено, что на данной территории наиболее развито использование солнечной энергии. Это связано с климатическими условиями и количеством солнечных дней в регионе. Ввиду большого образования органических отходов в Саратовской области рационально использовать биомассу для получения биоэнергии. Правительство Саратовской области намерено и дальше стабильно увеличивать долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе региона. К 2035 г. доля возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе Саратовской области достигнет 6%, а в 2050 г. составит около 13%. По мнению авторов, глобальные перспективы зеленых энергетических переходов в России, как и в трансляции на Саратовскую область, заключаются в частичном переходе на альтернативную энергетику (солнце и ветер), с использованием биоэнергетики и высокoeffективных технологий очистки выбросов CO₂ при использовании традиционного топлива.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, биоэнергетика, ветряная энергетика, солнечная энергетика, энергетический переход, влияние ветряных электростанций, влияние солнечных электростанций, Саратовская область

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Технологические вызовы и социально-экономические преобразования в контексте зеленых переходов» (Соглашение № 075-15-2022-1136 от 01.07.2022).

✉ Для корреспонденции. Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ORCID и e-mail адреса: Опарина Анна Михайловна: <https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>, annaoparina93@gmail.com; Политаева Наталья Анатольевна: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, politaevana1971@gmail.com; Ильин Игорь Васильевич: <https://orcid.org/0000-0002-1834-4894>, igor.ilin@spbstu.ru.

Для цитирования. Опарина А. М., Политаева Н. А., Ильин И. В. Глобальные перспективы перехода на зеленую энергетику в Саратовской области // Поволжский экологический журнал. 2023. № 3. С. 314 – 330. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-314-330>

ВВЕДЕНИЕ

Производство энергии в глобальной экономике основано в большей степени на ископаемых ресурсах. Весь объём поставок первичной энергии состоит на 81% из ископаемого топлива, на 5% из ядерной энергии, а доля возобновляемых источников энергии составляет всего лишь 14%, из которой энергия биомассы составляет примерно 70% (REN21, 2022). Доклад IEA «Нулевые выбросы к 2050 году» содержит в себе предупреждение о необходимости сокращения использования ископаемого топлива и предложены пути перехода к системе производства энергии с нулевыми выбросами к 2050 г. (IEA, 2021).

В 2013 г. Программа Правительства Российской Федерации по стимулированию Развития ВИЭ (возобновляемых источников энергии) поставила задачу ввести в действие и подключить к энергосистеме 3.6 ГВт ветроэнергетических установок (ВЭУ) и 1.52 ГВт фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) (Постановление Правительства РФ, 2013). По данным ассоциации развития возобновляемой энергетики, в 2021 г. объем новых эксплуатируемых объектов ВИЭ-генерации по программе ДПМ ВИЭ (программа договоров предоставления мощности в области возобновляемых источников энергии) превысил 1 ГВт, составив 1212 МВт. В июле 2022 г. совокупная установленная мощность возобновляемой генерации в России достигла 5.47 ГВт, т.е. 2.2% всей мощности электростанций страны (Интерес инвесторов..., 2022).

Государственная политика Российской Федерации продолжает способствовать развитию ВИЭ, однако для многих регионов России оно остается пока только на уровне исследований. При этом направленное развитие альтернативной энергетики в регионах России, в том числе и в Саратовской области, представляет собой колоссальное значение для подъема экономики региона.

За годы существования СССР Саратовская область вошла в число крупнейших энергетических доноров страны, которым остается и сегодня. Территория Саратовской области велика (101240 км²) и сопоставима с Южной Кореей. На территории области расположены огромные электростанции – генераторы электроэнергии, такие как Саратовская ГЭС и Балаковская АЭС, которые вырабатывают более 42 млрд кВт·ч. Сама область потребляет всего 13 млрд кВт·ч, то есть, втрое меньше, чем вырабатывает. Несмотря на достаточное для области количество вырабатываемой энергии, ежегодно предлагается множество идей для развития в регионе альтернативной энергетики. В основном это использование ветряной и солнечной энергии.

В Российской Федерации альтернативная энергетика может получить наибольшее развитие в регионах, расположенных в зоне степей, где среднегодовая температура выше, чем в регионах средней полосы России. Во многих районах степной зоны в энергетическом секторе присутствуют 1 – 3 и более видов альтернативных источников энергии. Это уже достаточно напитанные ветряными стан-

циями Ставропольский и Краснодарский края, Ростовская и Волгоградская области. В степных регионах присутствуют солнечные электростанции, биоэнергетика на отходах от сельского хозяйства, а также широко используется энергия малых рек. Одним из таких регионов является Саратовская область (Соколов, Руднева, 2020).

Цель данного исследования проанализировать и систематизировать литературные данные по глобальным перспективам перехода на зеленую энергетику в Саратовской области.

При поиске и изучении литературных данных по вопросу, поставленному в исследовании, выяснилось, что на данный момент отсутствуют публикации, дающие полную и всеобъемлющую актуальную на 2023 г. информацию о состоянии возобновляемой энергетики в Саратовской области. Поэтому было решено собрать и систематизировать все данные, касающиеся данного запроса в одной научной обзорной статье.

Материал для научного обзора изыскивался в научных статьях, опубликованных в различных базах данных, таких как Scopus, Google Scholar и РИНЦ (Российский индекс научного цитирования). Поиск актуальных данных по теме исследования проводился также среди статей средств массовой информации, опубликованных в сети ИНТЕРНЕТ, которые удовлетворяли критериям поиска и обладали достоверностью информации. Во время поиска мы рассматривали весь материал, удовлетворяющий нашему запросу, начиная с публикаций двадцатилетней давности, среди них встречались широко цитируемые, глобальные и интересные работы Cooper, Sheate, 2002, Pearce-Higgins et al., 2009. Однако особое внимание мы уделяли современным публикациям 2020 – 2023 гг.

Поиск по ключевым словам осуществлялся с использованием различных словосочетаний: «альтернативная энергетика + Саратовская область», «зеленая энергетика + Саратовская область», «биоэнергетика + Саратовская область», «ветряная энергетика + Саратовская область», «солнечная энергетика + Саратовская область», «энергетический переход + Саратовская область», «влияние + ветряных электростанций», «влияние + солнечных электростанций». В поисковых системах Scopus и Google Scholar поиск также осуществлялся по ключевым словам на английском языке: «alternative energy + Saratov region», «green energy + Saratov region», «bioenergy + Saratov region», «wind energy + Saratov region», «solar energy + Saratov region», «energy transition + Saratov region», «impact + wind power plants», «impact + solar power plants».

Это извлечение дало наиболее полную картину о требуемом запросе, поскольку разные авторы использовали самые разные комбинации слов в названиях своих работ. Поиск ключевых слов производился по названию, аннотации и ключевым словам каждой публикации. В результате было проанализировано более 100 источников, из которых 25 включено в список литературы. Стоит отметить, что некоторые публикации по искомому вопросу могли быть упущены нами при поиске. Эти публикации могли не включать в своем названии и ключевых словах ни одного словосочетания из нашего поискового запроса. Однако, по нашему мнению, эта вероятность мала и даже если она присутствует, то вряд ли существенно

повлияет на описываемую картину в целом. Первоначально в каждой публикации просматривалось ее название и, при соответствии запросу, вычитывалась аннотация. После установления того, что в аннотации указывается искомая нами проблема, статья была отобрана к дальнейшему изучению. Следующим шагом избранные публикации вычитывались полностью и анализировались.

Аналогичные методики поиска материалов для аналитического обзора используются повсеместно, различными научными группами (Богомолов и др., 2021; Nevzorova, Kutcherov, 2019; Douglas et al., 2023).

Развитие ветроэнергетики в Саратовской области

В России активно наращивается мощность и производительность ветроэлектростанций (ВЭС). На январь 2022 г. суммарная мощность ВЭС в стране составляла уже 1937.69 МВт. Их работа позволяет избежать выбросов CO_2 в атмосферу за счет неиспользования топлива — более 2.2 млн т в год (Берёзкин и др., 2023).

По утвержденной схеме территориального планирования страны в области энергетики до 2030 г. (Схема территориального планирования Российской Федерации..., 2016) в России должны появиться новые ВЭС. Одна из них ВЭС-13, Красноармейская ВЭС, заявленной мощностью 182 МВт, планируется к строительству в Саратовской области. Её ввод увеличит энергетический потенциал Саратовской области в части развития нетрадиционной и возобновляемой энергетики. Известно, что строительством Красноармейской ВЭС в Высоковском сельском поселении займется «Десятый ветропарк ФРВ», по планам работы закончатся в 2025 г. (Инвесторы вложили..., 2023).

Плюсы и минусы ветроэнергетики. Ветровая энергетика по праву относится к производству «чистой энергии», к её плюсам можно отнести следующие:

- ветроэнергетика неисчерпаема;
- ветроэнергетика экологична (при работе ВЭС практически отсутствуют выбросы углекислого газа в атмосферу);
- площади под ВЭС пригодны для сельскохозяйственных угодий.

Среди минусов ветроэнергетики можно выделить проблемы и трудности с утилизацией выработавших свои сроки ветряных лопастей (Габитов, Егоров, 2021; Khalid et al., 2023). На сегодняшний день их предлагают перерабатывать, перепрофилировать и ремонтировать. Переработка может включать в себя прессование лезвий в доски для использования в строительстве и измельчение стекловолокна на ингредиенты для цемента, однако это трудно транслировать в промышленный масштаб из-за высокой стоимости и энергозатратности таких технологий (Кадырматов, Филиппова, 2022). Не только утилизация отработавших лопастей вызывает опасение. Отрицательное влияние на окружающую среду оказывает утилизация аккумуляторов, используемых для накопления и хранения электроэнергии. Из них пытаются выделять различные металлы, однако и этому процессу сопутствует выделение большого количества отходов (Кадырматов, Филиппова, 2022; Liu et al., 2022). Кроме того, для производства аккумуляторов необходимы редкоземельные металлы (Alves et al., 2020; Gielen, Lyons, 2022), добыча которых трудна и несет в себе последствия для окружающей среды. Для установки ВЭС необходимы боль-

шие территории, что изменяет ландшафт в целом, влияя тем или иным образом на флору, фауну и почву, и даже приводит к отчуждению земель.

Шумовое и визуальное воздействие ВЭС, вызываемые ими электро-, радио- и телевизионные помехи описаны в работах (Говорушко, 2011; Saidur et al., 2011).

Вращающиеся лопасти ветроустановок представляют опасность для орнитофауны (Хулка и др., 2013; Перес-Гарсиа и др., 2018; Miller et al., 2014; Morinha et al., 2014). Негативное влияние могут оказывать физические воздействия, исходящие от уже существующих ветроустановок (столкновения птиц с турбинами, лопастями и башнями), также отрицательное воздействие оказывается на местобитания и пути миграции птиц при строительстве ветряных электростанций. Птицы могут сталкиваться с высоковольтными линиями, мачтами, антеннами и окнами зданий, получать повреждения и даже умирать от столкновений с лопастями ВЭУ (Викторович, Седлилка, 2014). В исследовании (Pearce-Higgins et al., 2009) найдены значительные доказательства локального снижения плотности гнездящихся птиц на ветряных электростанциях на возвышенностях. Целостное влияние крупных ветряных электростанций может нарушить экологические связи в местах обитания птиц, что повлияет на их кормовую базу, сократит потенциальные места для выращивания птенцов, укрытия и ночлега (Cooper, Sheate, 2002). Кроме того, ветряные электростанции всегда требуют прокладки линий электропередач, что представляет собой серьезный риск для орнитофауны. Необходимо отметить, что в рассматриваемом нами регионе – Саратовской области, обитает значительное количество редких и исчезающих видов птиц. Среди них в первую очередь следует назвать представителей семейства Дрофиных: большую дрофу (*Otis tarda* Linnaeus, 1758) и стрепета (*Tetrax tetrax* Linnaeus, 1758). Именно в этом регионе сохранилась крупнейшая в России гнездовая популяция дрофы (Опарина и др., 2022). В саратовском Заволжье в гнездовой период также обитают редкие виды жаворонков, таких как белокрылый жаворонок (*Melanocorypha leucoptera* Pallas, 1811), черный жаворонок (*Melanocorypha yeltoniensis* Forster, 1768) (Опарин и др., 2021; Мамаев и др., 2022). На территории области гнездятся также редкие хищные птицы: степной орел (*Aquila rapax* Temminck, 1828), курганник (*Buteo rufinus* Cretzschmar, 1827), могильник (*Aquila heliaca* Savigny, 1809), орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758), занесенные в Красную книгу РФ (Красная книга Российской Федерации, 2021).

Все описанные выше минусы можно свести к минимуму при правильном выборе территорий под строительство ВЭС. Необходимо проведение тщательной экологической экспертизы, обоснованной учеными-экспертами в данной области. При этом для минимизации широко обсуждаемого воздействия на птиц, необходимо:

- исключение наличия заповедников и других природоохранных зон на территории воздействия будущей ВЭС;
- выявление и описание всех видов уязвимых птиц, обитающих в районе строительства и воздействия ВЭС, установка их охранного статуса;
- описание миграционных путей птиц на территории воздействия планируемой ВЭС;

- указание возможных мест размножения птиц;
- изучение уровней лётной активности и поведения птиц в полёте для оценки рисков столкновения с ветроустановками.

Интересно, что по данным М. А. Королькова и О. В. Бородина (2019), которые одними из первых в России провели эколого-орнитологический мониторинг на территории ВЭС мегаваттного класса вблизи г. Ульяновска, данная ВЭС не представляет серьёзной опасности для птиц.

Развитие солнечной энергетики в Саратовской области

Среднегодовая продолжительность инсоляции для Саратовской области составляет 2100 – 2400 ч. Средняя продолжительность светового дня от 8 ч в декабре (34%) до 16 ч в июне (67%), с продолжительностью светлого времени суток от 252 до 489 ч/месяц (Тимофеев, Тимофеев, 2018). Солнечное излучение в южных районах области достигает в среднем $742 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, в центральных районах эти значения составляют около $560 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, а в северных районах среднее значение солнечной инсоляции составляет $430 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ (Бакиров и др., 2020). Таким образом, территория Саратовской области имеет высокий потенциал для использования солнечной энергии в своем энергетическом комплексе.

В Саратовском регионе имеются примеры практического применения солнечной энергии. Санаторно-гостиничный комплекс «Изумруд» в Балакове Саратовской области стал первым экспериментальным объектом нового проекта по использованию возобновляемых источников энергии компании «ФосАгро». На крыше лечебного комплекса существует собственная солнечная электростанция (СЭС). Установленные панели могут дать комплексу порядка $25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии, что почти полностью удовлетворяет потребности заведения в электроэнергии (ФосАгро запустила проект..., 2020).

В 2017 г. в Саратовской области были построены 2 солнечные электростанции: Пугачевская СЭС (15 МВт) (первая, введенная в эксплуатацию СЭС в области) и СЭС в с. Орлов-Гай, Ершовский район (первая очередь Орловгайской СЭС (5 МВт)). В 2018 г. в Новоузенском районе введена СЭС (15 МВт) на гетероструктурных модулях. Эта технология до 15% увеличивает выработку электроэнергии, снижает затраты на строительство СЭС, благодаря более высокому КПД монтируется меньше количество модулей. КПД такой солнечной ячейки превышает 23%, это один из высочайших мировых показателей серийного производства таких модулей. Введение в эксплуатацию этой СЭС позволило сократить выбросы углекислого газа более чем на 18 тыс. т. В 2018 г. построена вторая очередь Орловгайской СЭС (10 МВт) (Новоузенская солнечная электростанция..., 2020). В 2020 г. введена четвертая солнечная электростанция в Саратовской области – первая очередь Дергачевской СЭС, мощностью 25 МВт. В июне 2022 г. группы компаний «Хевел» достроила её вторую и третью очереди, общая мощность которых составила 35 МВт (Дергачевская СЭС – завершено, 2022). Сейчас в Саратовской области действуют четыре СЭС под управлением группы компаний «Хевел», а общая мощность солнечной генерации в регионе составляет около 100 МВт.

Потенциальным районом для размещения СЭС в Саратовской области является Алтайский район, где зимой значения суммарной солнечной радиации обычно не ниже 30 Вт/м², а летом достигают 320 Вт/м², среднегодовые значения на этой территории достигают 170 Вт/м² (Нейштадт, Червяков, 2022).

Плюсы и минусы солнечной энергетики. Воздействие на окружающую природную среду от солнечных электростанций наиболее полно рассмотрено в работе Turney, Fthenakis (2011). В этом исследовании говорится том, что основное воздействие СЭС связано с тем, что солнечные электростанции обычно занимают огромные площади и имеют ограждение заборами, в результате чего может быть сильно ограничено передвижение животных. В целом среда обитания на территориях постройки СЭС сильно изменяется. Почвы перед установкой фотоэлектрических элементов обрабатывают большим количеством гербицидов, а если растительность и оставляют, то постоянно скашивают ее до необходимых размеров, в результате этих действий существенное влияние будет оказано на насекомых и других животных и птиц, связанных с этим местообитанием. От воздействия солнечной радиации, по данным, приведенным в статье (Turney, Fthenakis, 2011), погибнуть могут и птицы, и летучие мыши, и насекомые. Мониторинговых исследований, посвященных вопросу влияния СЭС на окружающую природную среду, все еще недостаточно для полноценного понимания долгосрочного воздействия СЭС на экосистемы.

Из основных плюсов использования солнечной энергии можно выделить ее экологическую чистоту и неиссякаемость как источника электроэнергии.

Однако и недостатками все же нельзя пренебречь:

- фотоэлементы для преобразования солнечной радиации в электроэнергию постоянного тока все еще имеют высокую стоимость;
- требуется применение специальных инверторов, преобразующих электроэнергию постоянного тока в электроэнергию переменного тока;
- аккумуляторы, которые используются для накопления энергии, также имеют высокую стоимость производства, и что еще хуже, после выработки своего потенциала они должны быть экологично утилизированы, что повышает стоимость СЭС;
- во время производства солнечных элементов и фотоэлектрических установок потребляется значительное количество энергии и ценных ресурсов, образуются выбросы CO₂ и других загрязняющих веществ.

Таким образом, на данный момент стоимость солнечной электроэнергии все еще намного выше электроэнергии, вырабатываемой от традиционных источников электроэнергии (Елоева, Есенов, 2014).

Развитие биоэнергетики в Саратовской области

Дефицит энергоносителей и проблемы охраны окружающей среды обусловили формирование нового научно-технического направления – биоэнергетики – это получение энергии из биомассы. Как наука, она изучает процессы превращения органических веществ в энергию живыми организмами.

В рамках положений федеральной «Комплексной программы развития биотехнологий в России на период до 2020 года» на территории Саратовской области будет введен в эксплуатацию комплекс глубокой переработки зерна для производства аминокислот. Возводится он на площади в 50 га в Балашовском районе, на территории Хоперского округа. Реализует проект ООО «Саратовские Биотехнологии». Саратовская область выбрана под этот проект, так как является крупным производителем пшеницы в Российской Федерации. Производство будет включать 4 завода: крахмальный завод, завод по производству глюкозы, завод по производству хлорида лизина и завод по производству биоэтанола (Отраслевой обзор, 2020).

В Саратовском государственном аграрном университете (СГАУ) разработали и исследовали инновационную технологию возделывания семян сафлора для производства биотоплива. По мнению авторов (Shyurova et al., 2020), в засушливых условиях Саратовской области только сафлор (*Carthamus tinctorius* Linneaus, 1753) может стабильно поставлять высококачественное маслосодержащее сырье для производства биодизеля, а биотопливо, полученное при смешении дизельного топлива с сафлоровым маслом, экономически целесообразно.

Сельское хозяйство Саратовской области вырабатывает большое количество органических отходов, например, лузга подсолнечника, остающаяся после производства растительного масла. Леса Саратовской области являются источником старой древесины, на остальной территории образуется много соломы, тростника, рогоза и камыша, а также другой растительной биомассы для производства биотоплива – топливных гранул (пеллет) (Шкодина, 2019; Доклад о состоянии..., 2022). Органические отходы складываются на полигонах и являются дополнительным источником эмиссий парниковых газов. К сожалению, получение энергии из биомассы слабо развито в Саратовской области, хотя это направление бурно развивается в РФ и мире.

Для минимизации антропогенного воздействия на атмосферный воздух и получения биоэнергии в Саратовской области нами предлагается:

- применять дегазацию уже существующих полигонов и использовать полученный биогаз для выработки энергии;
- органические промышленные и сельскохозяйственные отходы подвергать переработке в анаэробных условиях в метантенках с получением гумуса и биогаза;
- внедрить селективный сбор ТКО, и органические отходы подвергать переработке в анаэробных условиях в метантенках с получением гумуса и биогаза.

Плюсы и минусы биоэнергетики. Современная биоэнергетика является крупнейшим источником возобновляемой энергии в мире, на ее долю приходится 55% возобновляемой энергии и более 6% мирового энергоснабжения. Ее использование увеличивалось в среднем на 7% в год в период с 2010 по 2021 г. и имеет тенденцию к росту. Согласно сценарию нулевого выброса CO₂ биомасса в сельской местности будет использоваться биогазовыми реакторами для получения биоэнергии. В 2030 г. 60% поставок биоэнергии будет поступать из отходов, не требующих землепользования (IEA, 2022).

Преимущества биоэнергии:

- биоэнергия относится к возобновляемым источникам энергии;
- получение энергии из биомассы меньше загрязняет окружающую среду, чем сжигание ископаемого топлива, поэтому её использование снижает выбросы углекислого газа и оказывает меньшее воздействие на озоновый слой;
- биомасса дешевле и множество ее видов существует повсеместно;
- энергия биомассы открывает новые возможности для сельскохозяйственного сектора, поскольку энергетические культуры заменяют те, которые были заброшены или больше не используются для их первоначальной деятельности, тем самым предотвращая эрозию и деградацию почвы;
- практически не производит выбросов твердых частиц или загрязняющих веществ, таких как азот или сера;
- использование этой энергии снижает зависимость от ископаемого топлива;
- использование органических отходов от других видов деятельности способствует их переработке и сокращению.

Минусы бионергетики:

- биомасса может содержать много влаги, которую необходимо высушить перед сжиганием, что означает более высокое энергопотребление;
- для производства такого же количества энергии требуется больше биотоплива, чем ископаемого топлива, поэтому для его хранения требуется больше места;
- мы имеем дело с недавно появившимся ресурсом, который передовые технологии не могут эффективно использовать, как в случае с жидким и твердым топливом;
- если при сжигании биомассы образуются токсичные вещества, сжигание должно быть замещено пиролизом и происходить при температуре выше 900°C.

Одним из минусов биоэнергетики является её потребность в постоянном обеспечении биоотходами, поэтому биотопливные производства должны иметь грамотное расположение по отношению к источникам биоотходов, которые смогут обеспечить достаточные объемы сырья, а транспортные пути для их транспортировки будут минимизированы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав большое количество научных исследований, других литературных источников и источников СМИ, авторы собрали и представили наиболее актуальные данные о развитии зеленой энергетики в Саратовской области, внося тем самым новый вклад в литературу по изучаемому вопросу.

На основе анализа использования альтернативной энергии в Саратовской области нами было показано, что на данной территории наиболее развито использование солнечной энергии. Это связано с климатическими условиями и количеством солнечных дней в регионе. Ввиду большого образования органических отходов в Саратовской области рационально использовать биомассу для получения биоэнергии. К сожалению, получение энергии из биомассы (биоэнергия) пока еще недостаточно развито в Саратовской области, хотя данное направление бурно развивается в РФ и мире.

Было выявлено, что правительство Саратовской области намерено и дальше увеличивать долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе. По данным ассоциации развития возобновляемой энергетики, Саратовская область в результате увеличения доли ВИЭ в энергобалансе (после ввода 300 МВт мощности ВИЭ-генерации) способна снизить по 300 тыс. т выбросов углекислого газа в год (Саратовская область выбрала зеленый курс, 2022), что является большим шагом в переходе на зеленую энергетику. К 2035 г. доля ВИЭ в энергетическом балансе Саратовской области достигнет 6%, а в 2050 г. составит около 13%.

В России, с огромным количеством запасов традиционного энергетического сырья (газ и нефть), а также наличием огромных территорий в северной части континента, где очень низкие среднегодовые температуры, полный переход на альтернативную энергетику затруднен. По мнению авторов, глобальные перспективы зеленых энергетических переходов в России, как и в трансляции на Саратовскую область, заключаются в частичном переходе на альтернативную энергетику (солнце и ветер), с использованием биоэнергетики и высокоэффективных технологий очистки выбросов CO₂ при использовании традиционного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бакиров С. М., Елисеев С. С., Гуринов И. А. Анализ факторов, влияющих на преобразование солнечной энергии в электрическую на территории Саратовской области // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XI национальной научно-практической конференции с международным участием / под ред. В. А. Трушкина. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет, 2020. С. 8 – 11.

Берёзкин М. Ю., Борзенко В. И., Дегтярев К. С., Залиханов А. М., Замолотчиков Д. Г., Ларин Н. В., Лукашов А. А., Нефедова Л. В., Низматулин Р. И., Синюгин О. А., Соловьев Д. А., Стребков Д. С., Сывороткин В. Л., Фёдоров В. М. Источники энергии, климат и энергетический переход. М.: Энергия, 2023. 144 с. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7919418>

Богомоллов П. Л., Феоктистова Н. Ю., Кропоткина М. В., Суров А. В. Использование интернет-ресурсов для оценки численности видов, контактирующих с человеком (на примере обыкновенного хомяка (*Cricetus cricetus*) (Cricetidae, Rodentia)) // Поволжский экологический журнал. 2021. № 4. С. 458 – 467. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-458-467>

Викторович Н. В., Седлиска К. Препятствия на пути развития ветроэнергетики. Мифы и реальная угроза // Вестник Брестского государственного технического университета. 2014. №. 2. С. 96 – 99.

Габитов И. А., Егоров В. В. Экологическая безопасность при использовании возобляемых источников энергии // Современные проблемы энергетики и пути их решения: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2021. С. 93 – 97.

Говорушко С. М. Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду // Альтернативная энергетика и экология. 2011. Вып. 4. С. 38 – 42.

Дергачевская СЭС – завершено. 2022. URL: <https://dzen.ru/a/Yu2awJdL3FtLv8UY> (дата обращения: 23.04.2023).

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2021 году / Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. Саратов, 2022. 250 с.

Елоева Р. К., Есенов И. Х. Перспективы использования альтернативных источников энергии в сельском хозяйстве // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51, № 3. С. 193 – 196.

Инвесторы вложили более 8 млрд рублей в проекты «зеленой» энергетики в Саратовской области // Информационное агентство ТАСС. 2023. URL: <https://tass.ru/ekonomika/18001129> (дата обращения: 23.04.2023).

Интерес инвесторов к теме ВИЭ в России сохраняется // Ассоциация развития возобновляемой энергетики. М., 2022. URL: <https://trreda.ru/information-bulletin-july2022> (дата обращения: 03.03.2023).

Кадырмятов Ю. Р., Филиппова Ф. М. Воздействие ветряных электрических станций на экологию // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Пятой международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов. Екатеринбург: РГППУ, 2022. С. 187 – 189.

Корольков М. А., Бородин О. В. Первый российский опыт орнитологического мониторинга на территории современной ветроэнергетической станции мегаваттного класса // Бутурлинский сборник: материалы VI международных Бутурлинских чтений. Ижевск: ООО «Принт», 2019. С. 167 – 179.

Красная книга Российской Федерации. Животные. 2-е издание. М.: ВНИИ Экология, 2021. 1128 с.

Мамаев А. Б., Опарин М. Л., Опарина О. С. Особенности динамики численности жаворонков (*Alaudidae*, Aves) в полупустынной зоне саратовского Заволжья // Поволжский экологический журнал. 2022. № 3. С. 307 – 321. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-3-307-321>

Нейштадт Я. А., Червяков М. Ю. Спутниковый мониторинг потоков солнечной энергии для целей развития гелиоэнергетики в Саратовской области // Фундаментальные и прикладные космические исследования: материалы XIX конференции молодых учёных. М.: Институт космических исследований РАН, 2022. С. 84 – 91. <https://doi.org/10.21046/KMU-2022-84-91>

Новоузенская солнечная электростанция. Первая СЭС на гетероструктурных модулях в Саратовской области // ХЕВЕЛ. СПб., 2020. URL: <https://spb.hevelsolar.com/projects/novouzenskaya-solnechnaya-elektrostantsiya/> (дата обращения: 11.05.2023).

Опарин М. Л., Мамаев А. Б., Опарина О. С., Трофимова Л. С. Анализ многолетней динамики численности жаворонков (*Alaudidae*, Aves) в полупустыне на северо-западе Прикаспийской низменности // Поволжский экологический журнал. 2021. № 2. С. 230 – 245. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-2-230-245>

Опарина О. С., Опарин М. Л., Кудрявцев А. Ю., Опарина А. М. Характеристика местобитаний дрофы (*Otis tarda*) (*Otididae*, Aves) в Заволжье по доступности кормовой базы в период выкармливания птенцов // поволжский экологический журнал. 2022. № 1. С. 34 – 54. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-34-54>

Отраслевой обзор. 370 крупнейших инвестиционных проектов строительства агрокомплексов и пищевых производств РФ. Проекты 2020 – 2023 годов. СПб.: INFOnline, 2020. 26 с. URL: <https://infonline.spb.ru/upload/iblock/0e0/0e0b98b2f7b140edaf60f1636df390a9.pdf> (дата обращения: 03.05.2023).

Перес-Гарсиа Д. М., Каррет М., Аррондо Е., Кортес-Ависанда А., Де Ла Рива М., Санчес-Саната Д. Л., Донасар Д. Л. Использование инновационных методов телеметрии для оценки влияния ветро-электростанций на природу // Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спец. вып. 1. С. 192 – 194.

Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. N 449. «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности». URL: <https://base.garant.ru/70388616/> (дата обращения 23.04.2023).

Саратовская область выбрала зеленый курс // Ассоциация развития возобновляемой энергетики. М., 2022. URL: <https://trreda.ru/novosti/tpost/goiobrmppy1-saratovskaya-oblast-vibrala-zelenii-kurs> (дата обращения: 03.05.2023).

Соколов А. А., Руднева О. С. Перспективы развития альтернативной энергетики в регионах степной зоны России // Вестник Челябинского государственного университета. 2020. № 6. С. 49 – 55. <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10606>

Схема территориального планирования Российской Федерации в области энергетики (утв. распоряжением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. N 1634-р). 2016. URL: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm> (дата обращения 05.05.2023).

Тимофеев М. Н., Тимофеев А. Н. Использование системного подхода для выбора структуры гибридной электростанции на примере Саратовской области // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7, №. 4. С. 61 – 66.

ФосАгро запустила проект по использованию возобновляемых источников энергии на производственных и социальных объектах // ФосАгро. М., 2020. URL: [https://www.phosagro.ru/press/industry/fosagro-zapustila-proekt-po-ispolzovaniyu-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-na-proizvodstvennykh-/](https://www.phosagro.ru/press/industry/fosagro-zapustila-proekt-po-ispolzovaniyu-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-na-proizvodstvennykh/) (дата обращения: 03.03.2023).

Хулка С., МакЛауд Д., Ларсен Дж. К. Метод оценки риска столкновения орлана-белохвоста с использованием лазерного дальномера // Пернатые хищники и их охрана. 2013. № 27. С. 248 – 252.

Шкодина О. Н. Экологическое состояние Саратовской области // Актуальные проблемы природопользования и природообустройства: сборник статей II международной научно-практической конференции. Пенза: ПГАУ, 2019. С. 283 – 286.

Alves D. P., Bobba S., Carrara S., Plazzotta B. The Role of Rare Earth Elements in Wind Energy and Electric Mobility. Luxembourg: European Union, 2020. 43 p. <https://doi.org/10.2760/303258>

Cooper L. M., Sheate W. R. Cumulative effects assessment: A review of UK environmental impact statements // Environmental Impact Assessment Review. 2002. Vol. 22, iss. 4. P. 415 – 439. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00010-0)

Douglas D. J. T., Waldinger J., Buckmire Z., Gibb K., Medina J. P., Sutcliffe L., Beckmann C., Collar N. J., Jansen R., Kamp J., Little I., Sheldon R., Yanosky A., Koper N. A global review identifies agriculture as the main threat to declining grassland birds // Ibis. 2023. Vol. 163. <https://doi.org/10.1111/ibi.13223>

Gielen D., Lyons M. Critical Materials for the Energy Transition: Rare Earth Elements. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2022. 46 p.

IEA. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector IEA. Paris, 2021. Available at: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (accessed March 3, 2023).

IEA. (2022). Bioenergy. Paris, 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/bioenergy> (accessed March 3, 2023).

Khalid M. Y., Arif Z. U., Hossain M., Umer R. Recycling of wind turbine blade through modern recycling technologies: Road to zero waste // Renewable Energy Focus. 2023. Vol. 44. P. 373 – 389. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.02.001>

Liu P., Meng F., Barlow C. Y. Wind turbine blade end-of-life options: An economic comparison // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 180. Article number 106202. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106202>

Miller T. A., Brooks R. P., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O'Malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Duerr A., Katzner T. Assessing risk to birds from industrial wind energy development via paired resource selection models // Conservation Biology. 2014. Vol. 28, iss. 3. P. 745 – 755. <https://doi.org/10.1111/cobi.12227>

Morinha F., Travassos P., Seixas F., Martins A., Bastos R., Carvalho D., Magalhaes P., Santos M., Bastos E., Cabral J. Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal // Bird Study. 2014. Vol. 61, iss. 2. P. 255 – 259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>

Nevzorova T., Kutcherov V. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review // *Energy Strategy Reviews*. 2019. Vol. 26. Article number 100414. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414>

Pearce-Higgins J. W., Stephen L., Langston R. H. W., Bainbridge I. P., Bullman. R. The distribution of breeding birds around upland wind farms // *Journal of Applied Ecology*. 2009. Vol. 46, iss. 6. P. 1323 – 1331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x>

REN21. Renewables 2022 global status report. 2022. Available at: <https://www.ren21.net/gsr-2022/> (accessed March 3, 2023).

Saidur R., Rahim N. A., Islam M. R., Solangi K. H. Environmental impact of wind energy // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, iss. 5. P. 2423 – 2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>

Shyurova N. A., Dubrovin V. V., Narushev V. B., Kozhevnikov A. A., Milovanov I. V. Biofuel as an alternative energy source for the automobile industry: The experience of the Lower Volga Region (Russia) // *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, iss. 6. P. 29 – 35. <https://doi.org/10.12911/22998993/123164>

Turney D., Fthenakis V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, iss. 6. P. 3261 – 3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>

Global perspectives of transition to green energy generation in the Saratov region

A. M. Oparina , N. A. Politaeva, I. V. Illin

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Polytechnicheskaya St., Saint Petersburg 195251, Russia*

Received: May 19, 2023 / revised: June 22, 2023 / accepted: June 24, 2023 / published: September 22, 2023

Abstract. The article discusses global prospects for the transition to green energy generation in the Saratov region. The literature data on the current situation in the alternative energy sector (wind energy, solar energy, and bioenergy) in the Saratov region have been studied and systematized. The data were obtained from the most relevant and cited publications in the world databases Scopus, Google Scholar, RSCI and among Internet media articles. The pros and cons are described, as well as the overall impact on the environment of each type of renewable energy that exists in the Saratov region. Much attention is paid to the impact of wind turbines and solar power plants on the environment. It has been established that the use of solar energy is most developed in this area. This is due to climatic conditions and the number of sunny days in the region. In view of the large formation of organic waste in the Saratov region, it is rational to use biomass to obtain bioenergy. The Saratov region government intends to continue to steadily increase the share of renewable energy sources in the energy balance of the region. By 2035, the share of renewable energy sources in the regional energy balance will reach 6%, and in 2050 it will be about 13%. We believe that the global prospects for green energy transitions in the Russian Federation, as well as in the transmission to the Saratov region, consist in a partial transition to alternative energy (solar and wind), using bioenergy and highly efficient technologies for cleaning CO₂ emissions from traditional fuel.

Keywords: alternative energy generation, bioenergy, wind energy, solar energy, energy transition, impact of wind power plants, impact of solar power plants, Saratov region

Funding. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2022-1136 dated 01.07.2022).

For citation: Oparina A. M., Politaeva N. A., Illin I. V. Global perspectives of transition to green energy generation in the Saratov region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 3, pp. 314–330 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-314-330>

REFERENCES

Bakirov S. M., Eliseev S. S., Gurinov I. A. Analysis of factors affecting the conversion of solar energy into electrical energy in the Saratov region. *Aktual'nye problemy energetiki APK: materialy XI natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Pod red. V. A. Trushkina [V. A. Trushkin, ed. Actual Problems of Energy of Agroindustrial Complex: Pro-

 *Corresponding author.* Higher School of Hydraulic and Power Engineering Construction, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Anna M. Oparina: <https://orcid.org/0000-0002-2043-1866>, annaoparina93@gmail.com; Natalia A. Politaeva: <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, politaevana1971@gmail.com; Igor V. Illin: <https://orcid.org/0000-0002-1834-4894>, igor.ilin@spbstu.ru.

ceedings of the XI National Scientific-Practical Conference With International Participation]. Saratov, Saratov State Agrarian University Publ., 2020, pp. 8–11 (in Russian).

Berezkin M. Yu., Borzenko V. I., Degtyarev K. S., Zalikhanov A. M., Zamolodchikov D. G., Larin N. V., Lukashov A. A., Nefedova L. V., Nigmatulin R. I., Sinyugin O. A., Solovyev D. A., Strebkov D. S., Syvorotkin V. L., Fedorov V. M. *Energy Sources, Climate and Energy Transition*. Moscow, Publishing house “Energy”, 2023. 144 p. (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7919418>

Bogomolov P. L., Feoktistova N. Yu., Kropotkina M. V., Surov A. V. Use of Internet resources to estimate the abundance of species contacting with humans (with an example of the common hamster (*Cricetus cricetus* L., 1758) (Cricetidae, Rodentia)). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 458–467 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-458-467>

Viktorovich N.V., Sedliska K. Barriers on the way of development of wind power. Myths and real threat. *Vestnik of Brest State Technical University*, 2014, no. 2, pp. 96–99 (in Russian).

Gabitov I. A., Egorov V. V. Environmental safety in the use of renewable energy sources. *Sovremennye problemy energetiki i puti ikh resheniia: materialy VI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern Energy Problems and Ways of Their Solution: Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference]. Makhachkala, Dagestan State Technical University Publ., 2021, pp. 93–97 (in Russian).

Govorushko S. M. Wind power stations impact on the environment. *Alternative Energy and Ecology*, 2011, iss. 4, pp. 38–42 (in Russian).

Dergachev solar power plant – completed. 2022. Available at: <https://dzen.ru/a/Yu2awJdL3FtLv8UY> (accessed April 23, 2023) (in Russian).

Doklad o sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredy Saratovskoi oblasti v 2021 godu [Report on the State and Environmental Protection of the Saratov Region in 2021]. Saratov, Ministry of Natural Resources and Environment of the Saratov region Publ., 2022. 250 p. (in Russian).

Eloeva R. K., Essenov I. Kh. Perspectives of energy alternative sources use in agriculture. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, 2014, vol. 51, no. 3, pp. 193–196 (in Russian).

Investors have invested more than 8 billion rubles in green energy projects in the Saratov Region. *TASS News Agency*, 2023. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/18001129> (accessed April 23, 2023).

Investor interest in RES in Russia remains. *Russia Renewable Energy Development Association*. Moscow, 2022. Available at: <https://rreda.ru/information-bulletin-july2022> (accessed March 3, 2023).

Kadymyatov Y. R., Philippova F. M. The impact of wind power plants on the environment. *Ecological Safety in Technosphere Space: Collection of Materials of the Fifth International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists and students*. Ekaterinburg, Russian State Professional and Pedagogical University Publ., 2022, pp. 187–189 (in Russian).

Korolkov M. A., Borodin O. V. The first Russian experience in ornithological monitoring on the territory of a modern megawattclass wind power station. *Buturlinskii sbornik: Materials of the VI International Buturlin Readings*. Izhevsk, Print LLC, 2019, pp. 167–179 (in Russian).

Red Data Book of the Russian Federation. Animals. 2nd edition. Moscow, VNI Ecology Publ., 2021. 1128 p. (in Russian).

Mamaev A. B., Oparin M. L., Oparina O. S. Features of the population dynamics of larks (Alaudidae, Aves) in the semi-desert zone of the Saratov Trans-Volga region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 3, pp. 307–321 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-3-307-321>

Neyshtadt Y. A., Chervyakov M. Yu. Satellite monitoring of solar radiation flux for the development of solar energy in the Saratov region. *Fundamental and Applied Space Researches: Proceedings of the XIX Young Scientists Conference*. Moscow, Space Research Institute of the

Russian Academy of Sciences Publ., 2022, pp. 84–91 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/KMU-2022-84-91>

Novouzen solar power plant. The first SES on heterostructure modules in the Saratov region. *HEVEL*. Saint Petersburg, 2020. Available at: <https://spb.hevelsolar.com/projects/novouzenskaya-solnechnaya-elektrostantsiya/> (accessed May 11, 2023).

Oparin M. L., Mamaev A. B., Oparina O. S., Trofimova L. S. Analysis of the long-term lark population dynamics (Alaudidae, Aves) in the semi-desert in the Northwestern Caspian lowland. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 2, pp. 230–245 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-2-230-245>

Oparina O. S., Oparin M. L., Kudryavtsev A. Yu., Oparina A. M. Characteristics of the great bustard (*Otis tarda*) (Otididae, Aves) habitats in the Trans-Volga region according to food availability during the chick rearing period. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 1, pp. 34–54 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-34-54>

Otraslevoi obzor. 370 krupneishikh investitsionnykh projektov stroitel'stva agrokompleksov i pishchevykh proizvodstv RF. Proekty 2020 – 2023 godov [Industry Overview. 370 Largest Investment Projects for the Construction of Agro-complexes and Food Production Facilities in the Russian Federation. Projects of 2020–2023]. Saint Petersburg, INFOLine, 2020. 26 p. Available at: <https://infoline.spb.ru/upload/iblock/0e0/0e0b98b2f7b140edaf60f1636df390a9.pdf> (accessed May 3, 2023) (in Russian).

Pérez-García J. M., Carrete M., Arrondo E., Cortés-Avizanda A., de la Riva M., Sánchez-Zapata J. A., Donázar J. A. Use of innovative telemetry methods to assess interactions between wind farms and wildlife. *Raptors Conservation*, 2018, suppl. 1, pp. 192–194 (in Russian).

Resolution of the Government of the Russian Federation dated May 28, 2013, N 449. “On the Mechanism for Stimulating the Use of Renewable Energy Sources in the Wholesale Electricity and Capacity Market”. Available at: <https://base.garant.ru/70388616/> (accessed April 23, 2023) (in Russian).

Saratov region has chosen a green course. *Russia Renewable Energy Development Association*. Moscow, 2022. Available at: <https://rreda.ru/novosti/tpost/goiobrmpl-saratovskaya-oblast-vibrala-zelenii-kurs> (accessed May 3, 2023).

Sokolov A. A., Rudneva O. S. Prospects of alternative energy development in the regions of the Russian steppe zone. *Bulletin of Chelyabinsk State University*, 2020, no. 6, pp. 49–55 (in Russian). <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10606>

Scheme of Territorial Planning of the Russian Federation in the Field of Energy (Approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated August 1, 2016 N 1634-r). 2016. Available at: <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm> (accessed May 5, 2023) (in Russian).

Timofeev M. N., Timofeev A. N. Using a system approach to select a structure of a hybrid electric power station on the example of the Saratov region. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 61–66 (in Russian).

PhosAgro launches a project to use renewable energy sources at production and social facilities. *PhosAgro*. Moscow, 2020. Available at: <https://www.phosagro.ru/press/industry/fosagro-zapustila-proekt-po-ispolzovaniyu-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-na-proizvodstvennykh/> (accessed March 3, 2023) (in Russian).

Hulka S., Mcleod D., Larsen J. K. Assessing collision risk in White-Tailed Eagles using laser range-finder technology. *Raptors Conservation*, 2013, no. 27, pp. 248–252 (in Russian).

Shkodina O. N. Environmental condition of the Saratov region. *Aktual'nye problemy prirodopol'zovaniia i prirodoobustroistva: sbornik statei II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual Problems of Nature Management and Environmental Management: Collection of Articles of the II International Scientific-Practical Conference]. Penza, Penza State Agrarian University Publ., 2019, pp. 283–286 (in Russian).

Alves D. P., Bobba S., Carrara S., Plazzotta B. *The Role of Rare Earth Elements in Wind Energy and Electric Mobility*. Luxembourg, European Union, 2020. 43 p. <https://doi.org/10.2760/303258>

Cooper L. M., Sheate W. R. Cumulative effects assessment: A review of UK environmental impact statements. *Environmental Impact Assessment Review*, 2002, vol. 22, iss. 4, pp. 415–439. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(02)00010-0)

Douglas D. J. T., Waldinger J., Buckmire Z., Gibb K., Medina J. P., Sutcliffe L., Beckmann C., Collar N. J., Jansen R., Kamp J., Little I., Sheldon R., Yanosky A., Koper N. A global review identifies agriculture as the main threat to declining grassland birds. *Ibis*, 2023, vol. 163. <https://doi.org/10.1111/ibi.13223>

Gielen D., Lyons M. *Critical Materials for the Energy Transition: Rare Earth Elements*. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2022. 46 p.

IEA. (2021). *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector* IEA. Paris, 2021. Available at: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (accessed March 3, 2023).

IEA. (2022). *Bioenergy*. Paris, 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/bioenergy> (accessed March 3, 2023).

Khalid M. Y., Arif Z. U., Hossain M., Umer R. Recycling of wind turbine blade through modern recycling technologies: Road to zero waste. *Renewable Energy Focus*, 2023, vol. 44, pp. 373–389. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.02.001>

Liu P., Meng F., Barlow C. Y. Wind turbine blade end-of-life options: An economic comparison. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, vol. 180, article number 106202. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106202>

Miller T. A., Brooks R. P., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O'Malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Duerr A., Katzner T. Assessing risk to birds from industrial wind energy development via paired resource selection models. *Conservation Biology*, 2014, vol. 28, iss. 3, pp. 745–755. <https://doi.org/10.1111/cobi.12227>

Morinha F., Travassos P., Seixas F., Martins A., Bastos R., Carvalho D., Magalhaes P., Santos M., Bastos E., Cabral J. Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 2014, vol. 61, iss. 2, pp. 255–259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>

Nevzorova T., Kutcherov V. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*, 2019, vol. 26, article number 100414. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414>

Pearce-Higgins J. W., Stephen L., Langston R. H. W., Bainbridge I. P., Bullman. R. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 2009, vol. 46, iss. 6, pp. 1323–1331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x>

REN21. *Renewables 2022 global status report*. 2022. Available at: <https://www.ren21.net/gsr-2022/> (accessed March 3, 2023).

Saidur R., Rahim N. A., Islam M. R., Solangi K. H. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15, iss. 5, pp. 2423–2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>

Shyurova N. A., Dubrovin V. V., Narushev V. B., Kozhevnikov A. A., Milovanov I. V. Biofuel as an alternative energy source for the automobile industry: The experience of the Lower Volga Region (Russia). *Journal of Ecological Engineering*, 2020, vol. 21, iss. 6, pp. 29–35. <https://doi.org/10.12911/22998993/123164>

Turney D., Fthenakis V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15, iss. 6, pp. 3261–3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>