

# ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Г.Е. Артамонов<sup>1</sup>, В.А. Гутников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов  
*Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093*

<sup>2</sup> ФГБУ ЦНИИП Минстроя России  
*проспект Вернадского, д. 29, Москва, Россия, 119331*

Рассматриваются территориальные особенности развития объектов альтернативной энергетики в Российской Федерации и их влияние на экосистемы.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, субъекты РФ, электроэнергия, моделирование, физическая география, экосистема

Экосистемы России обладают значительным потенциалом для развития различных видов альтернативных источников энергии (АИЭ) на всей территории страны. В частности, в зависимости от региона особенно велик потенциал для развития ветровой, геотермальной, солнечной энергии. Однако в настоящий момент АИЭ в России используются недостаточно, в результате чего Россия значительно отстает от стран—членов Международного энергетического агентства (МЭА), а также от Бразилии, Индии, Китая, Индонезии и ЮАР.

**Цель и актуальность исследования.** Целью исследования является проведение анализа деятельности объектов возобновляемой энергетики на территории России на экосистемной основе и установление связей производственной деятельности объектов энергетики с показателями использования экосистем.

По данным Министерства энергетики РФ, технический потенциал энергии рек составляет 382 млрд кВт·ч в год, в России также большой объем геотермальных ресурсов, разработка которых коммерчески целесообразна. Годовой объем производства органических отходов достигает 390 млн т, из них 250 млн т — сельскохозяйственные отходы, 60 млн т — твердые бытовые отходы, 10 млн т — бытовые отходы, 70 млн т — древесные отходы [5].

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились на основе собранной авторами официальной статистической информации Росстата, энергогенерирующих компаний, научных трудов в области географии и биологии методом корреляционного и кластерного анализов.

По состоянию на 1 января 2014 г. доля альтернативных источников энергии в электробалансе России занимает около 0,3%. Суммарная мощность исследуемых нами альтернативных источников энергии составляет 480 МВт, из них: доля ветровых электростанций — 18,2%, солнечных электростанций — 65%, геотермальных электростанций — 16,5%, приливных электростанций — 0,3%.

В некоторых местностях используют геотермальную энергию. Например, ОАО «РусГидро» принадлежат действующие геотермальные электростанции Паужетская, Верхне-Мутновская и Мутновская. На 1 января 2012 г. их суммарные установленные мощности составили 76,1 МВт, генерация электроэнергии составила 400 млн кВт·ч в год [2].

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 г. № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» к 2024 г. планируется увеличить долю альтернативных источников энергии в производстве электроэнергии страны до 4,5% за счет введения в эксплуатацию новых мощностей [6]. В документе представлены следующие целевые показатели установленной мощности объектов АИЭ на период 2014—2024 гг. (табл. 1).

Таблица 1

**Целевые показатели ввода установленной мощности объектов АИЭ на период 2014—2024 гг.**

| Тип АИЭ        |       | Год  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Всего |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                |       | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |       |
| Мощность (МВт) | ВЭС   | —    | 51   | 50   | 200  | 400  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 399  | 3600  |
|                | СЭС   | 120  | 140  | 200  | 250  | 270  | 270  | 270  | —    | —    | —    | —    | 1520  |
|                | Итого | 120  | 191  | 250  | 450  | 670  | 770  | 770  | 500  | 500  | 500  | 399  | 5120  |

В соответствии со схемой территориального планирования Российской Федерации в области энергетики к 2030 г. по всей стране планируется введение в эксплуатацию ветровых электростанций суммарной мощностью 6060 МВт. В стадии проектирования также находятся четыре приливные электростанции с проектируемой мощностью 124,4 ГВт [7].

Размещение 31 исследуемого объекта альтернативной энергетики в экосистемах России согласно классификации А.Г. Исаченко представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Размещение АИЭ в экосистемах России и энергетическая нагрузка**

| Название станции | Мощность, МВт | Площадь используемых экосистем, га | Тип экосистем | Экологический потенциал ландшафта | Индекс биологической эффективности климата | Индекс энергетической нагрузки | Мощность на площадь используемых земель МВт / га |
|------------------|---------------|------------------------------------|---------------|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| ВЭС              |               |                                    |               |                                   |  |                                |  |
| Останинская      | 25,0          | 125,2                              | 31а           | 2                                 | 27   | 0,22                           | 0,200  |
| Сакская          | 19,0          | 135,0                              | 30б           | 3                                 | 22   | 0,16                           | 0,141  |
| Тарханкутская    | 15,0          | 226,0                              | 30б           | 3                                 | 22   | 0,10                           | 0,066  |
| Судакская        | 6,3           | 43,7                               | 69            | 1                                 | 36   | 0,10                           | 0,144  |
| Пресноводненская | 6,0           | 47,4                               | 31а           | 2                                 | 27   | 0,09                           | 0,127  |

| Название станции   | Мощность, МВт | Площадь используемых экосистем, га | Тип экосистем | Экологический потенциал ландшафта | Индекс биологической эффективности климата | Индекс энергетической нагрузки | Мощность на площадь используемых земель МВт / га |
|--------------------|---------------|------------------------------------|---------------|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|
| Зеленоградская     | 5,1           | 41,2                               | 16            | 3                                 | 22   | 0,08                           | 0,124  |
| Донузлавская       | 2,9           | 70,0                               | 30б           | 3                                 | 22   | 0,03                           | 0,041  |
| Анадырская         | 2,5           | 42,0                               | 4             | 20                                | 7  | 0,04                           | 0,060  |
| Тюпкильды          | 2,2           | 2,7                                | 26            | 3                                 | 22   | 0,13                           | 0,818  |
| Заполярная         | 1,5           | 3,5                                | 5             | 15                                | 5  | 0,08                           | 0,426  |
| Никольская         | 1,2           | 2,2                                | 51            | 13                                | 7  | 0,08                           | 0,548  |
| Калмыцкая          | 1,0           | 3,6                                | 30            | 9                                 | 14   | 0,05                           | 0,280  |
| СЭС                |               |                                    |               |                                   |  |                                |  |
| Перово             | 105,6         | 200,0                              | 30а           | 2                                 | 27   | 0,75                           | 0,528  |
| Охотниково         | 82,7          | 160,0                              | 30б           | 2                                 | 27   | 0,65                           | 0,517  |
| Николаевка         | 69,7          | 116,0                              | 30а           | 2                                 | 27   | 0,65                           | 0,601  |
| Митяево            | 31,6          | 59,0                               | 30а           | 2                                 | 27   | 0,41                           | 0,535  |
| Родниковое         | 7,5           | 15,0                               | 29б           | 2                                 | 27   | 0,19                           | 0,500  |
| Кош-Агачская       | 5,0           | 20,0                               | 58            | 19                                | 12   | 0,11                           | 0,250  |
| Кош-Агачская-2     | 5,0           | 20,0                               | 58            | 19                                | 12   | 0,11                           | 0,250  |
| Переволоцкая       | 5,0           | 20,0                               | 28            | 9                                 | 14   | 0,11                           | 0,250  |
| Крапивенские Дворы | 0,1           | 0,8                                | 26            | 3                                 | 22   | 0,01                           | 0,118  |
| ГеоТЭС             |               |                                    |               |                                   |  |                                |  |
| Мутновская         | 50            | 11,6                               | 51            | 19                                | 12   | 1,47                           | 4,303  |
| Верхне-Мутновская  | 12            | 6,2                                | 51            | 19                                | 12   | 0,48                           | 1,921  |
| Паужетская         | 12            | 1,9                                | 51            | 19                                | 12   | 0,87                           | 6,303  |
| Менделеевская      | 3,6           | 6,0                                | 44            | 18                                | 17   | 0,15                           | 0,600  |
| Океанская          | 2,5           | 1,0                                | 44            | 18                                | 17   | 0,25                           | 2,476  |
| ПЭС                |               |                                    |               |                                   |  |                                |  |
| Пенжинская*        | 108 500       | н/д                                | 9а            | 20                                | 7  | н/д                            | н/д  |
| Мезенская*         | 8 000         | н/д                                | н/д           | н/д                               | н/д  | н/д                            | н/д  |
| Тугурская*         | 7 980         | н/д                                | 15            | 19                                | 12   | н/д                            | н/д  |
| Северная*          | 12            | н/д                                | 6             | 15                                | 5  | н/д                            | н/д  |
| Кислогубская       | 1,7           | 3,2                                | 6             | 15                                | 5  | 0,09                           | 0,526  |

\* Проектные данные.

При размещении производственно-технологических комплексов ветровых электростанций (ВЭС) больше всего изъято суббореальных восточноевропейских типичных степных экосистем (431 га); солнечных электростанций (СЭС) больше всего изъято суббореальных восточноевропейских типичных степных экосистем (375 га); геотермальных электростанций (ГеоТЭС) больше всего изъято бореальных экосистем, пояс стлаников (19,8 га); приливных электростанций (ПЭС) больше всего изъято субарктических лесотундровых восточноевропейских (3,2 га) [4].

Индекс биологической эффективности климата представляет собой произведение годовой суммы активных температур воздуха выше 10 °С на коэффициент увлажнения (отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости).

Индекс энергетической нагрузки ( $En$ ) рассчитывается по следующей формуле [1]:

$$En = 0,1 \cdot \sqrt{\frac{P^2}{S}},$$

где  $P$  — установленная мощность электростанции;  $S$  — площадь используемых экосистем.

Для размещения электростанций на основе возобновляемых источников энергии требуются значительные площади экосистем, наибольшие показатели у ВЭС (Тарханкутская) и СЭС (Перово). Производственные комплексы ГеоТЭС и Кислогубской ПЭС занимают гораздо меньшие площади.

Наибольшие показатели индекса ( $En$ ) у Мутновской и Паужетской ГеоТЭС, а также у СЭС, Перово и Охотниково. Указанные электростанции характеризуются также наибольшими показателями установленной мощности [1].

Низкие показатели индекса ( $En$ ) характерны для электростанций меньшей установленной мощности: Донзулавская и Анадырская ВЭС.

Наибольшие показатели установленной мощности на площадь используемых земель у Мутновской и Паужетской ГеоТЭС.

Корреляционный анализ связей установленной мощности АИЭ с социально-экономическими показателями, физико-географическими характеристиками территории и показателями техногенной нагрузки на экосистемы показал следующие связи (табл. 3).

Таблица 3

**Корреляция установленной электрической мощности АИЭ с физико-географическими, экологическими и производственными показателями**

| Показатель  | ВЭС    | СЭС    | ГеоТЭС |
|---|--------|--------|--------|
| Численность населения поселений, человек            | -0,256 | -0,364 | н/д    |
| Численность населения субъекта РФ, человек          | 0,265  | 0,455  | -0,607 |
| Урбанизация субъекта РФ, %                          | -0,120 | 0,412  | -0,607 |
| Годовое производство электроэнергии млн кВт·ч       | 0,978  | н/д    | 0,997  |
| КИУМ электроэнергии, %                              | 0,657  | н/д    | 0,847  |
| Широта, град.                                       | -0,500 | -0,716 | 0,639  |
| Долгота, град.                                      | -0,387 | -0,515 | 0,633  |
| Высота над уровнем моря, м                          | -0,214 | -0,434 | 0,625  |
| Индекс биологической эффективности климата          | 0,464  | 0,565  | -0,607 |
| Площадь используемых экосистем, га                  | 0,793  | 0,997  | 0,831  |
| Мощность на площадь используемых экосистем МВт / га | -0,345 | 0,734  | 0,417  |
| Индекс энергетической нагрузки                      | 0,833  | 0,976  | 0,934  |

**Результаты исследования.** Для ветровых и солнечных электростанций отмечена корреляционная связь установленной мощности с индексом биологической эффективности климата ( $r = 0,464$  и  $0,565$  соответственно).

Для всех типов электростанций отмечена, высока корреляция установленной мощности и площади используемых экосистем ( $r = 0,793$ ;  $0,997$ ;  $0,831$  соответственно).

Для СЭС отмечена высокая корреляция установленной мощности и показателя мощности на площадь используемых экосистем ( $r = 0,734$ ).

Для всех типов электростанций отмечена высокая корреляция установленной мощности и индекса энергетической нагрузки ( $En$ ) ( $r = 0,833; 0,976; 0,934$  соответственно). Мощность АИЭ напрямую зависит от площади, на которой располагаются энергоустановки.

В случае с ГеоТЭС отмечена корреляция установленной мощности с географическими координатами, высотой над уровнем моря ( $r = 0,639; 0,633; 0,625$  соответственно), что говорит о возможности их деятельности только в условиях горных экосистем России.

Результаты иерархического кластерного анализа по 10 показателям производственной деятельности, характеристик экосистем и техногенной нагрузки на экосистемы представлены в дендрограмме на рис. 1.

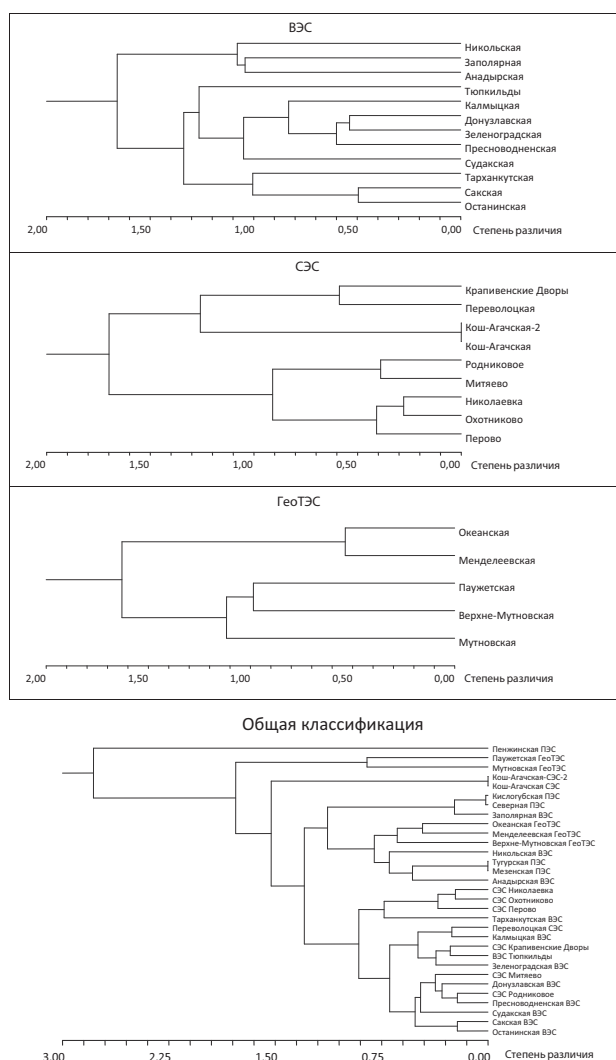


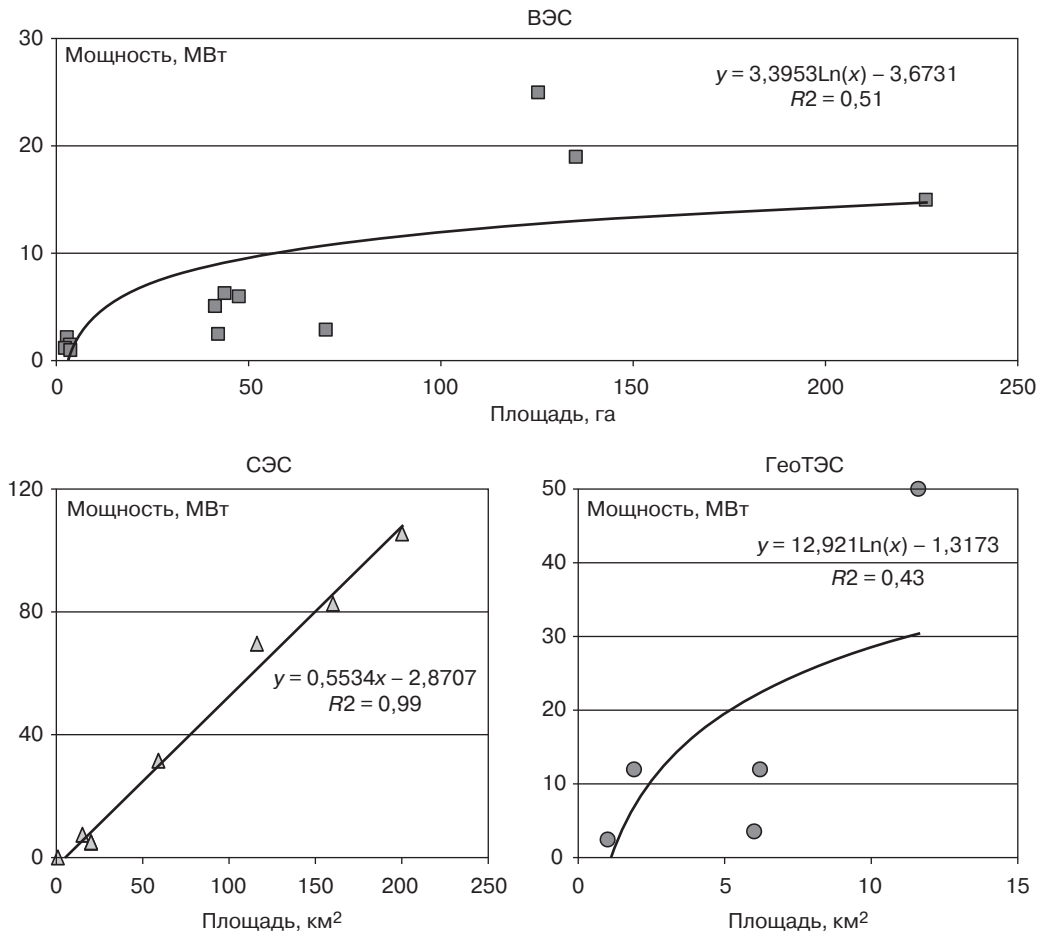
Рис. 1. Классификация ВЭС, СЭС и ГеоТЭС по уровню производственной деятельности и степени использования экосистем

Анализ классификаций СЭС, ВЭС и ГеоТЭС позволил выявить особенности функционирования объектов энергетики в экосистемах России. Электростанции различаются по типу технологии производства электроэнергии и условий функционирования.

Океанская и Менделеевская ГеоТЭС объединились в кластер, они обе расположены в бореальных экосистемах — в поясе широколиственно-темнохвойных лесов, тогда как остальные ГеоТЭС расположены в бореальных экосистемах — в поясе стлаников, что и прослеживается в классификации.

СЭС Перово, Охотниково, Николаевка, Митяево, Родниковое расположены отдельно от остальных, все они расположены на Крымском полуострове, тогда как СЭС Крапивенские Дворы и Переволоцкая, Кош-Агаская-1 и 2 расположены в близких экосистемах России.

Для ВЭС отмечается схожая ситуация, в кластеры объединились Заполярная и Анадырская, Донзулавская и Зеленоградская, Сакская и Останинская ВЭС. Это обусловлено близкими природными условиями экосистем, в которых они расположены.



**Рис. 2.** Зависимость установленной мощности от площади изъятых экосистем для ВЭС, СЭС и ГеоТЭС

В основе классификации лежат природно-климатические условия экосистем, а также показатели мощности и площади используемых экосистем.

Между установленной мощностью АИЭ и площадью используемых экосистем имеются следующие зависимости (рис. 2).

**Выводы.** Экосистемы России с учетом их биоразнообразия, различий климатических зон и рельефа позволяют развивать различные виды альтернативной энергетики. Основу для развития АИЭ составляют природно-климатические условия экосистем и энергообеспеченность поселений. Установленная мощность АИЭ связана с показателями, характеризующими воздействие на экосистемы и площадью используемых экосистем (см. табл. 3) [3].

1. Проведен иерархический кластерный анализ объектов АИЭ по 10 показателям производственной деятельности, типу экосистем и степени энергетической нагрузки. Предложены методические принципы классификации АИЭ на экосистемной основе (см. табл. 2 и рис. 1).

2. Установлена дифференциация в эффективности использования природных экосистем в результате производственной деятельности АИЭ, которая определяется физико-географическими условиями субъектов РФ (см. рис. 2).

3. Обеспечение реализации проектов строительства АИЭ в России позволит удовлетворить растущий спрос на электроэнергию в энергодефицитных регионах страны, существенно сократить ежегодные объемы выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов и шире использовать автономные источники в труднодоступных регионах.

4. Перспективными для размещения объектов солнечной и геотермальной энергетики представляются горные экосистемы. Возможности использования энергии ветра на суше наиболее перспективны в Калининградской области, на северо-западе и юге страны, а также в степных экосистемах.

5. В России большие возможности использования биомассы, а также сельскохозяйственных, бытовых и промышленных отходов для производства энергии для системы централизованного теплоснабжения.

6. Недостаточная освоенность отдельных территорий России создает благоприятные условия для раскрытия энергетического потенциала экосистем в целях развития альтернативной энергетики.

Научные исследования в области рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды являются базой для разработки и реализации государственных программ развития территорий городов РФ. Экспертиза экологического потенциала и стратегии ландшафтного развития региона является основой для градостроительного проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Артамонов Г.Е., Гутников В.А. Природные ресурсы и экосистемы для объектов ТЭК // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2013. № 4. С. 107—117.
- [2] Возобновляемые источники энергии / РусГидро. URL: [www.eng.rushydro.ru/industry/general](http://www.eng.rushydro.ru/industry/general)
- [3] Гутников В.А. Природно-ресурсный потенциал и ландшафтная модель для стратегии пространственного развития // Градостроительство. 2015. № 4(38). С. 53—62.

- [4] *Исаченко А.Г.* Ландшафты СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985.
- [5] Минэнерго России [Офиц. сайт]. URL: <http://www.minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 10.12.2015).
- [6] Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года // «Собрание законодательства РФ», 26.01.2009, № 4, ст. 515.
- [7] Распоряжение Правительства РФ от 11.11.2013 № 2084-р «Об утверждении схемы территориального планирования Российской Федерации в области энергетики» // «Собрание законодательства РФ», 25.11.2013, № 47, ст. 6125.

## **ECOSYSTEMS FOR POWERPLANTS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES**

**G.E. Artamonov<sup>1</sup>, V.A. Gutnikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> People's Friendship University of Russia  
*Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093*

<sup>2</sup> FGBU TSNIIP Ministry of Construction Russia  
*Vernadskogo, d. 29, Moscow, Russia, 119331*

Russia ecosystems have significant potential for various types of alternative energy sources development (AES) throughout the country. Especially great potential for wind, geothermal and solar energy. However, alternative energy sources are not well represented in Russia. As a result Russia is far behind the others economically developed countries now.

The aim of this study is ecosystem-based analysis of renewable energy facilities activity in Russia, and linking production activities of energy facilities with the performance of ecosystems. As of 01.01.2014 the share of alternative energy sources in the electric power Russia is about 0,3%. The total capacity of alternative energy sources is 480 MW, of which: the share of wind power plants — 18,2%, solar power plants — 65%, geothermal power plants — 16,5% and tidal power — 0,3%.

The basis for the alternative energy sources development is climatic conditions of ecosystems and settlements energy supply. Installed capacity of AES is associated with indicators of the impact on the ecosystem and the area used by the power facilities.

Ensuring the implementation of AES construction projects in Russia will meet the growing demand for electricity in energy-deficient regions of the country, significantly reduce annual emissions of pollutants and greenhouse gases and make greater use of independent sources in remote regions.

Research in the field of natural resource management and environmental protection are the basis for the state programs of territories development for cities of the Russian Federation. Examination of the ecological potential and strategies for landscape development in the region is the basis for urban planning.

**Key words:** alternative energy, the subjects of the Russian Federation, energy, simulation, physical geography, ecosystem



## REFERENCES

- [1] Artamonov G.E., Gutnikov V.A. Prirodnye resursy i jekosistemy dlja obektov TJeK. [Natural resources and ecosystems for Power facilities]. Vestnik Rossijskogo Universiteta Druzhy Narodov. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. [Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety]. M.: RUDN, 2013. № 4. pp. 107—117.
- [2] Vozobnovljaemye istochniki jenerгии [Renewable energy] / RusHydro. URL: [www.eng.rushydro.ru/industry/general](http://www.eng.rushydro.ru/industry/general)
- [3] Gutnikov V.A. Prirodno-resursnyj potencial i landshaftnaja model' dlja strategii prostranstvennogo razvitija. [Natural resource potential and landscape model for the spatial development strategy]. number 4. Gradostroitel'stvo [Town planning], № 4(38), 2015. pp. 53—62.
- [4] Isachenko A.G. Landshafty SSSR. [Landscapes of the USSR]. L.: Izd. University Press, 1985.
- [5] Minjenergo Rossii (Ofic. Sajt). [The Russian Energy Ministry (official. Site)]. URL: <http://www.minenergo.gov.ru/> (the date of circulation: 10.12.2015).
- [6] Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 08.01.2009 № 1-r «Ob osnovnyh napravlenijah gosudarstvennoj politiki v sfere povyshenija jenergetičeskoj jeffektivnosti jelektrojenergetiki na osnove ispol'zovanija vozobnovljaemyh istočnikov jenerгии na period do 2020 goda. [The order of the Russian Federation Government of 08.01.2009 № 1-p «On the main directions of the state policy in the field of energy efficiency of electric power from renewable energy sources in the period up to 2020». Sobranie zakonodatel'stva RF, [Collection of the legislation of the Russian Federation], 26.01.2009, № 4, Art. 515.
- [7] Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 11.11.2013 № 2084-r «Ob utverzhdenii shemy territorial'nogo planirovanija Rossijskoj Federacii v oblasti jenergetiki». [Resolution of the Russian Federation Government from 11.11.2013 № 2084-r «On approval of the scheme of territorial planning of the Russian Federation in the field of energy». Sobranie zakonodatel'stva RF [Collection of the legislation of the Russian Federation], 25.11.2013, № 47, Art. 6125.