

38. *Pasqualetti M.J.* The geography of energy and the wealth of the world. *Annals of the Association of American Geographers* 101: 2011, pp. 971–980.
39. *Pryde P.R.* Energy courses in American geography departments. *Journal of Geography* 84: 1985, pp. 154–157.
40. Renewable Energy Network 21 (REN21). *Renewables 2012: Global status report*, 2012.
41. *Sabins F.F.* Remote sensing for energy resources. In *Encyclopedia of energy: Volume 2*, ed. C.J. Cleveland, San Diego, CA: Elsevier, 2004, pp. 291–300.
42. *Simon C.A.* *Alternative Energy: political, economic and social feasibility* Lanham, MD: Rowman and Littlefield Publishers, 2005.
43. *Solomon B.D., Pasqualetti M.J., Luchsinger D.A.* Energy geography. In *Geography in America at the Dawn of the 21st Century*, ed. G. Gaile and C. Willmott, Oxford, UK: Oxford University Press, 2004.
44. *Solomon B.D., Pasqualetti M.J.* History of energy in geographic thought, In *Encyclopedia of energy: Volume 2*, ed. C.J. Cleveland, San Diego, CA: Elsevier, 2004, pp. 831–842.
45. *Spinney J., Green N., Burningham K., Cooper G., Uzzell D.* Are we sitting comfortably? Domestic imaginaries, laptop practices, and energy use *Environment and Planning A* 44: 2012, pp. 2629–2645.
46. *Spooner D.J.* The geography of coal's second coming. *Geography* 66: 1981, pp. 29–41.
47. *Spooner D.J.* New geographies of energy. In: Kent A., (Ed), *Reflective Practice in Geography Teaching*. Kent, London, UK: Paul Chapman Publishing Ltd. 2000, pp. 68–83.
48. *Van der Kroon B., Brouwer R., van Beukering P.J.H.* The energy ladder: theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 20: 2013, pp. 504–513.
49. *Van Zyl F.D.W.* Power supply and industry in South Australia. *The Australian Geographer* 6: 1968, pp. 507–514.
50. *Wang S., Leduc S., Obersteiner M., Schill C., Koch B.* A new thinking for renewable energy model: Remote sensing-based renewable energy model. *International Journal of Energy Research* 33: 2009, pp. 778–786.
51. *Warr B., Ayres R., Eisenmenger N., Krausmann F., Schandl H.* Energy use and economic development: a comparative analysis of useful work supply in Austria, Japan, the United Kingdom and the US during 100 years of economic growth. *Ecological Economics* 69: 2010, pp. 1904–1917.
52. *Zimmerer K.* New Geographies of Energy: Introduction to the Special Issue. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 101, No. 4, 2011, pp. 705–711.
53. *Zvoleff A., Kocaman A.S., Huh W.T., Modi V.* The impact of geography on energy infrastructure costs. *Energy Policy* 37: 2009, pp. 4066–4078.

УДК 528.942

А.М. Карпачевский¹, О.Г. Филиппова²

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ КАСКАДНЫХ АВАРИЙ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ ВОСТОКА РОССИИ

Резюме. Описан способ представления электросетей с помощью графа. Рассмотрено понятие структурной уязвимости сети как ключевого свойства надежности энергоснабжения, позволяющего оценить вероятность каскадных аварий в энергосистемах. разрабо-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет; e-mail: karpach-am@yandex.ru.

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет; e-mail: missnothing96@yandex.ru.

тана методика качественной оценки структурной уязвимости. Сформулированы принципы районирования изучаемых территорий по результатам работы модели. Описаны направления дальнейшего изучения структурной уязвимости с помощью сетевой модели.

Ключевые слова: электрические сети, структурная уязвимость, блэкаут, сетевая модель, ГИС-анализ.

Введение. Каскадные аварии в энергосистемах являются особым видом чрезвычайных ситуаций, который оказывает воздействие не только на саму энергосистему. Влияние каскадных аварий распространяется на все сферы жизнедеятельности человека, связанные с электроэнергетикой. Поэтому необходимо дать оценку вероятности таких аварий. Для этого можно воспользоваться понятием структурной уязвимости, которое по своей сути и является вероятностью аварийной ситуации.

Чтобы оценить структурную уязвимость, электрические сети необходимо представить в виде графа. В терминологии теории графов электрические сети можно представить в виде совокупности ребер (линий электропередач) и вершин (подстанций, электростанций, переключательных пунктов). В таком случае структурная уязвимость может быть определена как отношение изначального числа функционирующих подстанций к числу действующих после аварии [Rosas-Casals et al., 2007].

В данной работе рассматриваются регионы России с изолированными энергосистемами, в которых невозможны перетоки мощностей из соседних субъектов. К таким регионам относятся Камчатский край, Сахалинская и Магаданская области. Повышенный риск каскадных аварий для них обуславливается также и особенными географическими условиями (горный рельеф, муссонный климат и т.д.)

Материалы и методы исследований. Электроэнергетические системы изучаемых регионов в рамках данной работы были нами представлены в виде графов. Таким способом электросети были представлены в ряде работ зарубежных авторов, которые занимаются комплексным сетевым анализом электросетей [Voccaletti et al., 2006].

В сети можно выделить ряд компонентов. Деревом называется ветвящаяся сеть без замкнутых контуров. Цикл представляет собой замкнутый контур в сети. Важными количественными показателями, описывающими графы, являются степень вершины (количество ребер, приходящих в вершину), соотношение количества вершин и ребер, топологический диаметр и другие.

По наличию и сочетанию в сетях ветвей и циклов все транспортные сети делятся на три типа: деревья (ациклические сети, состоят только из ветвей), циклические (состоят из циклов и ветвей), ячеистые (состоят только из циклов) [Тархов, 2005].

В данной работе нами принято, что ребра графов не ориентированы (направление тока не фиксировано) и взвешены по пропускной способности, которая зависит от напряжения и марки провода.

Предварительный этап работы заключался в сборе данных и проводился на основе общедоступных космических снимков различных картографических веб-сервисов. Трассировка линий электропередач (ЛЭП) осуществлялась на основе ряда дешифровочных признаков, которые в целом дают представление о пространственной структуре сети [Каргашин и др., 2016].

Для работы использовались снимки, предоставляемые компанией Digital Globe, а также снимки Cartosat-1 и Landsat-7. Их пространственное разрешение сверхвысокое; более низким разрешением характеризуются Cartosat-1 (2,5 м), Landsat-7 (15 м в панхроматический канал) [Книжников, Кравцова, Тутубалина, 2004].

Первый этап работы по оценке структурной уязвимости заключался в создании набора сетевых данных в модуле Network Analyst (сетевой анализ) ГИС-пакета ArcGIS на основе ранее собранных данных о структуре сети.

Второй этап – определение кратчайших потенциальных путей между источниками и потребителями энергии с учетом веса. Для работы на этом этапе использовался инструмент создания матрицы расстояний между всеми вершинами.

Третий этап – поиск источников, через которые проходит наименьшее количество кратчайших потенциальных путей, для чего использовался инструмент пространственного соединения.

Дополнительным этапом работы, результат которого также позволяет судить о значимости той или иной вершины, является вычисление степени вершины. Для этого снова использовался инструмент пространственного соединения, но в качестве присоединяемого слоя были использованы линии электропередач.

Результаты исследований и их обсуждение. На изучаемые регионы было создано три серии карт. Первая серия включает в себя инвентаризационные карты энергосистем регионов масштаба 1:2 000 000. На них показаны линии электропередач и источники электроэнергии.

Вторая серия карт (пример приведен на рис. 1) того же масштаба показывает количество подключений ЛЭП. Для некоторых участков были созданы карты-врезки более крупных масштабов.

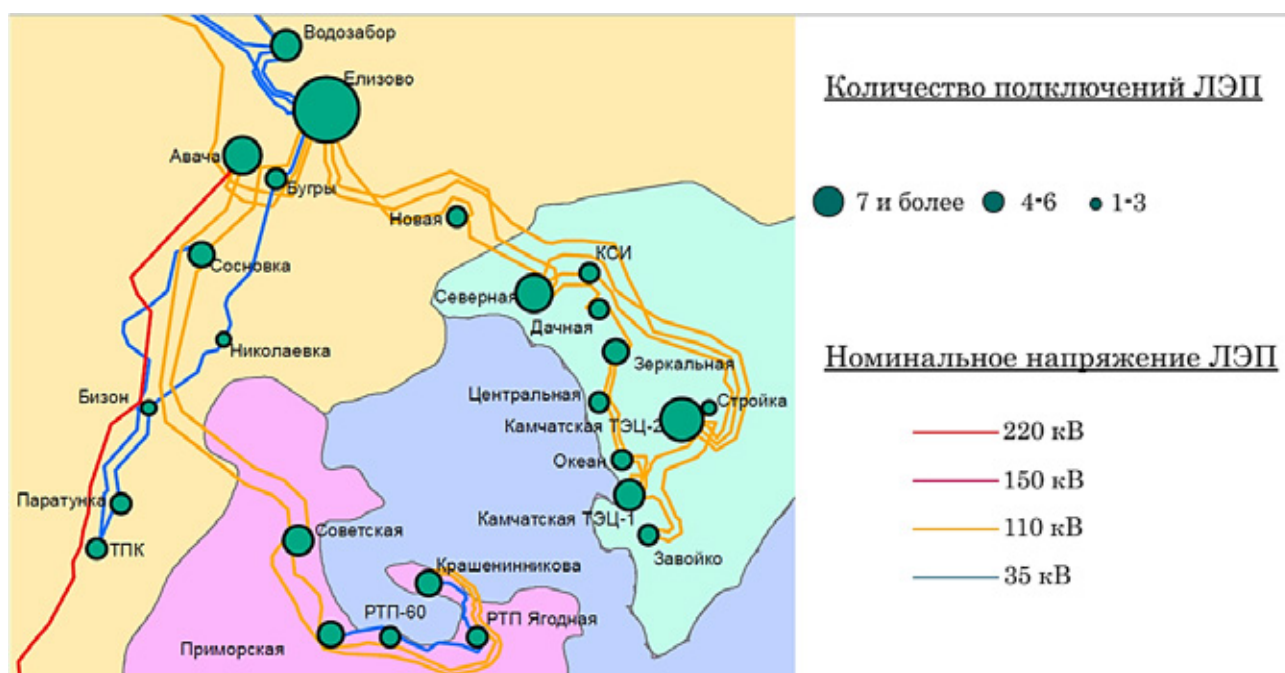


Рис. 1. Количество подключений ЛЭП в Камчатском крае (фрагмент)

Третья серия карт (пример на рис. 2) посвящена непосредственно качественной оценке структурной уязвимости. Карты выполнены в масштабах 1:4 000 000, 1:7 000 000 (Камчатский край), 1:5 000 000 (Магаданская область). Районирование проводилось с учетом наличия населенных пунктов. К районам с высоким значением показателя были отнесены территории в радиусе 20 км от тех источников, которые являются наиболее уязвимыми, а также те заселенные территории, которые удалены от источников электроэнергии. К районам с низким значением показателя были отнесены территории в радиусе 20 км от остальных источников. Помимо районирования, на карте показаны подстанции и электростанции, в том числе отключение которых наиболее опасно.

В качестве причин высокой уязвимости в результате ее изучения по картам можно привести:

1. древовидность сети, повышающая риск каскадных аварий из-за отсутствия резервных подключений;
2. наличие промежуточных вершин с высоким показателем степени либо с каскадом более высоких напряжений, что ведет к изоляции участков с обеих сторон от наиболее загруженного узла при аварийной ситуации;
3. изолированное положение участков сети с одним объектом генерации.

Структурная уязвимость является первичной оценкой устойчивости энергосистем к различного рода авариям, однако помимо нее, вероятность аварий обусловлена рядом природных, климатических факторов.

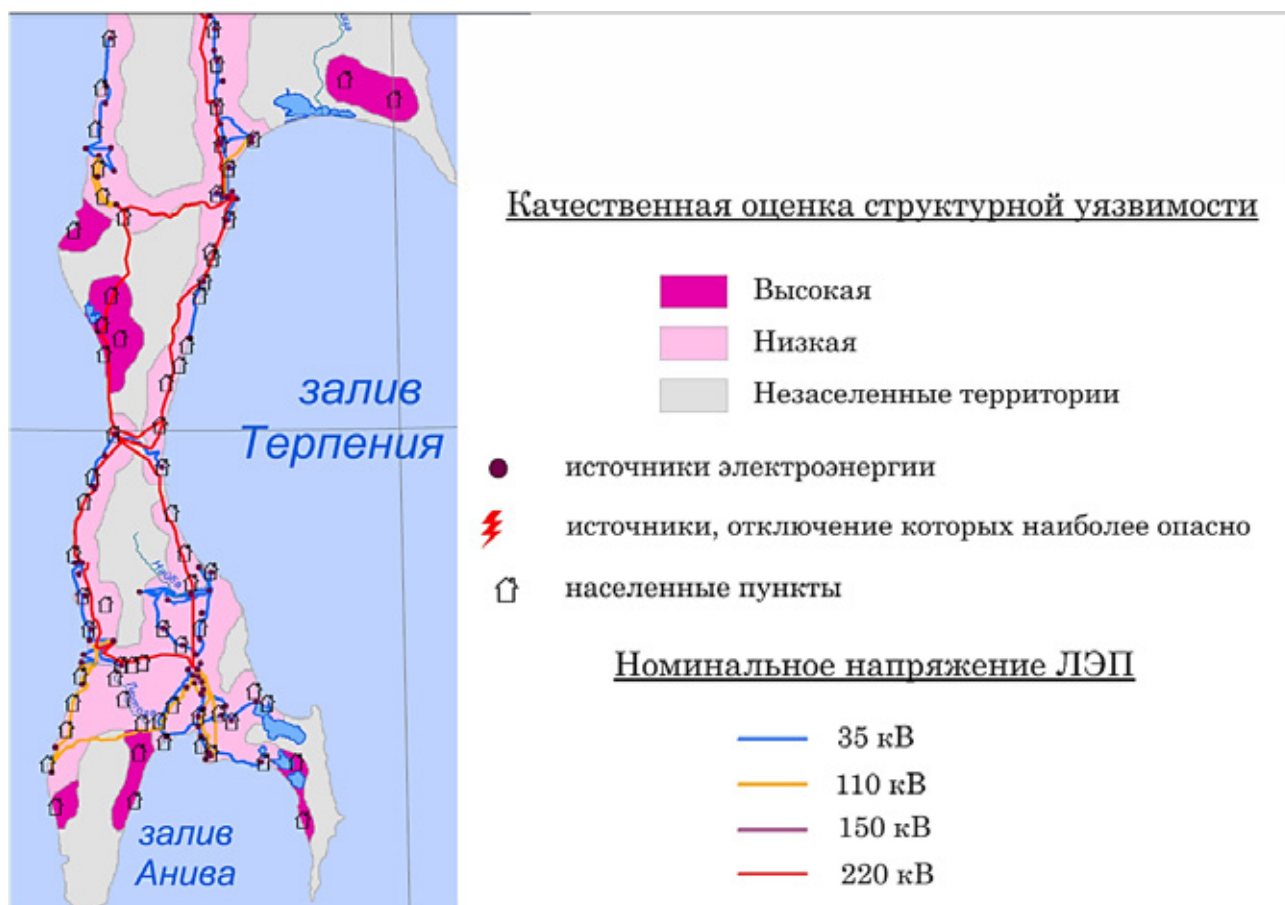


Рис. 2. Качественная оценка структурной уязвимости энергосистемы Сахалинской области (фрагмент)

Карты районирования по максимальной толщине стенки гололеда и скорости ветра, вероятной 1 раз в 25 лет, позволяют предварительно оценить механическую нагрузку на провода и опоры [ПУЭ]. Если участок энергосистемы находится в области с очень высокой климатической нагрузкой и одновременно является структурно уязвимым, то аварийное отключение участка сети может привести к каскадной аварии.

В результате были выявлены следующие наиболее уязвимые участки:

- Талон – Балаганное – Тауйск – Янск;
- Пушино – Половинка – Шаромы – ДЭС-5;
- Манилы – ДЭС – Каменское;
- ДЭС Соболево – Устьевое;
- Ильинская – Красногорская.

Таким образом, причины высокой уязвимости могут быть заложены в изначальной пространственной конфигурации сети, которая предрасполагает некоторые участки к аварийным ситуациям.

Выводы. Структурная уязвимость – собственное свойство энергосистемы, обуславливающее надежность электроснабжения конечных потребителей. Рассматриваемые регионы, Магаданская и Сахалинская области, Камчатский край, изолированы от единой энергосистемы России.

В данной работе приведена методика качественной оценки структурной уязвимости данных регионов России с помощью геоинформационных технологий и ее картографирова-

ния. Несмотря на качественный характер оценки, данная методика, тем не менее, позволяет выявить территории, которые подвержены наибольшему риску длительного отключения электроснабжения (блэкауту).

Разработанные картографические материалы наглядно показывают уязвимые места региона. Их совместный анализ с картами климатического районирования, используемыми в качестве нормативных при строительстве ЛЭП, позволяют сделать выводы, которые могут быть использованы при разработке ряда документов, касающихся развития регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Карпачевский А.М., Прасолова А.И. Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам // Геодезия и картография. 2016. – № 3. – С. 53–58.
2. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов высших учебных заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
3. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: КДУ, 2008. – 422 с.
4. Правила устройства электроустановок: по состоянию на 1 февраля 2008 г. – 6 и 7 изд. (все действующие положения).
5. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. – Смоленск–М.: Издательство «Универсум», 2005 – 384 с.
6. Фаддеев А.М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран Ближнего Зарубежья и Европы // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. 2016. № 1.
7. Харари Ф. Теория графов. – М.: МИР, 1973. – 300 с.
8. Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. (et al.). Complex networks: Structure and dynamics. // Physics Reports, 2006. Vol. 424. Pp. 175–308.
9. Rosas-Casals M., Valverde S., Solé R.V. Topological vulnerability of the European power grid under errors and attacks. // International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, 2007. Vol. 17. No. 7. Pp. 2465–2475.

А.М. Karpachevskiy¹, О.Г. Filippova²

MAP ESTIMATION OF BLACKOUT PROBABILITY IN ISOLATED ELECTRICAL POWER GRIDS: A CASE STUDY OF EASTERN RUSSIA

Abstract. *In this article we review the method of representation an electrical power grid as a graph. Then we state a definition of structural vulnerability as the main feature of electric power grid reliability, which allows to evaluate the blackout probability. We have created the methodic of locating critical element (nodes) by using GIS-technologies and tested it on studied regions. As the result, we have located zones of high and low structural vulnerability. In addition, some priority areas for investigation with the help of the network model are given.*

Key words: *electrical power grids, structural vulnerability, blackout, network model, GIS-analysis.*

REFERENCES

1. Kargashin P.E., Novakovskiy B.A., Karpachevskiy A.M., Prasolova A.I. Izuchenie prostanstvennoy konfiguracii elektrosetey po kosmicheskim snimkam [Studying of spatial configura-

¹Lomonosov Moscow State University, Geographical Department; e-mail: karpach-am@yandex.ru.

²Lomonosov Moscow State University, Geographical Department; e-mail: missnothing96@yandex.ru.

tion of electrical power grids by satellite images]. // Geodeziya i kartografiya. 2016. – № 3. – Pp. 53–58. (in Russian).

2. *Knizhnikov Yu.F., Kravcova V.I., Tutubalina O.V.* Aerokosmichestie metody geograficheskikh issledovaniy: uchebnyk dlya studentov vyshih uchebnykh zavedeniy [Aerospace methods in geographis research: a tutorial for students]. – M.: Izdatelskiy centr «Akamediya», 2004. – 336 p. (in Russian).

3. *Lurie I.K.* Geoinformacionnoe kartografirovaniye: metody geoinformatili i tsifrovoy obrabotki kosmicheskikh snimkoy [GIS mapping. Methods of Geoinformatics and digital processing of satellite images]. – M.: KDU, 2008 – 422 p. (in Russian).

4. *Pravila ustroystva elektroustanovok: po sostoyaniyu na 1 fevralya 2008 g. – 6 i 7 izd. (vse deystvuyuschie polojeniya).* [Rules for Electrical Installation: As of February 1, 2008 – 6 and 7th ed. (All applicable regulations)]. (in Russian).

5. *Tarkhov S.A.* Evolutsionnaya morfologiya transportnykh setey [Evolutionary morphology of transport networks]. – Smolensk – M.: Izdatelstvo «Universum», 2005 – 384 p. (in Russian).

6. *Faddeev A.M.* Otsenka uyazvimosti energosystem Rossii, stran Blizhnego zarubezjya i Evropy [Vulnerability assessment of power grid in Russia, Near abroad and Europe]. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. – 2016. – № 1. (in Russian).

7. *Harari F.* Teoriya grafof [The graph theory]. – M.: MIR, 1973. – 300 p. (in Russian)/

8. *Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. (et al.).* Complex networks: Structure and dynamics. // Physics Reports. 2006. Vol. 424. Pp. 175–308.

9. *Rosas-Casals M., Valverde S., Solé R.V.* Topological vulnerability of the European power grid under errors and attacks. // International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering. 2007. Vol. 17. No. 7. Pp. 2465–2475.

УДК 911.373

П.П. Турун¹, И.В. Чернова²

ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОСТИ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ПО ИТОГАМ ВСЕРОССИЙСКИХ ПЕРЕПИСЕЙ 2002, 2010 гг.: ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ

Резюме. В статье описывается Применение геоинформационных технологий при анализе динамики численности сельского населения республик Северного Кавказа в 1989–2010 гг. Проводится оценка расхождений данных переписи с результатами текущего учета населения за два межпереписных периода. Для получения наиболее точных данных численности сельского населения применяется поправочный коэффициент Результаты переписи рассматриваются критически, с учетом проблем ее проведения.

Ключевые слова: численность сельского населения, поправочный коэффициент, Всероссийские переписи населения 2002, 2010 гг., текущий учет численности населения.

Введение. В трудах российских географов неоднократно поднимался вопрос о завышении численности населения России и ее регионов по данным переписи населения 2002 г. Превышения объяснялись недоучетом в части иммиграции. Такая аргументация не полно-

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, институт математики и естественных наук, кафедра физической географии и кадастров, Ставрополь, 355000, Россия, канд. геогр. н., доцент; e-mail: turun-geo61@mail.ru.

² Северо-Кавказский федеральный университет, институт математики и естественных наук, кафедра социально-экономической географии, геоинформатики и туризма, Ставрополь, 355000, Россия, ассистент; e-mail: chernova_skfu@mail.ru.