

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ДОСТУПНОСТИ РЕГИОНОВ С ПОЗИЦИЙ ОСВОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

Расторгуев Иван Александрович

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: rastorguev_ia@nrcki.ru

Щепетина Татьяна Дмитриевна,

к.т.н., нач. лаборатории «Перспективных концепций», e-mail: Schepetina_TD@nrcki.ru

Баланин Андрей Леонидович,

старший научный сотрудник, e-mail: Balanin_AL@nrcki.ru

НИЦ «Курчатовский институт»

123182, Москва, пл. Курчатова, д.1.

Аннотация. Аналитическая ГИС-программа предназначена для целей многопараметрической оценки доступности транспортной и энергетической инфраструктуры, потенциала добычи полезных ископаемых, в т.ч. энергоресурсов, а также доступности альтернативных возобновляемых источников энергии в некотором определяемом географическими координатами месте, перспективном с точки зрения потребности развёртывания энергопроизводства, располагаемом в удаленных или труднодоступных районах России; для целей стратегического планирования развития регионов, освоения новых территорий, в т.ч. месторождений различных ресурсов. Практическое применение ГИС позволяет повысить эффективность процесса принимаемых стратегических решений.

Ключевые слова: ГИС, язык программирования Python v 3.7, модули QGIS, арктические территории РФ, инфраструктура, атомная энергетика, оптимизация.

Цитирование: Расторгуев И. А., Щепетина Т.Д., Баланин А.Л. Применение геоинформационной системы для оценки инфраструктурной доступности регионов с позиций освоения и развития // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 40-48. DOI:10.38028/ESI.2021.23.3.004

Введение. Такой геополитический фактор как большая широтная протяженность России, накладывает особые требования на развитие транспортной и энергетической обеспеченности регионов. Если в западной части страны идет поступательное развитие производственной инфраструктуры, то в восточной части отмечается существенное отставание [1, 2]. В качестве примера такого региона будет рассмотрена территория Западной Якутии. Наличие большой доли арктических и близких к ним по типу территорий с суровыми природно-климатическими условиями ведет к существенной нагрузке на бюджет в виде затрат на относительно комфортное освоение этих территорий. Наличие ценных минерально-сырьевых ресурсов вызывает естественное стремление к их освоению, а это сопряжено с относительно высокими затратами, как на создание производственной инфраструктуры, так и на обеспечение энергоресурсами. Особенно возрастает транспортная составляющая всех статей затрат.

Данная работа выполняется с целью создания геоинформационно-аналитического инструментария для поддержки принятия решений путем многопараметрической оценки доступности транспортной и энерго-транспортной инфраструктуры, потенциала добычи полезных ископаемых, в т.ч. энергоресурсов (нефть, газ, уголь), а также возможности использования возобновляемых источников энергии в некотором определяемом географическими координатами местоположении, перспективном с точки зрения потребности развёртывания энергопроизводства, расположенном в удаленных или труднодоступных районах России.

Постановка задачи. Задачей данной работы стало составление гео-инфраструктурно-логистических карт [3] обеспеченности и доступности регионов для энергоснабжения новых производств. Такие карты позволяют вычислить для любой точки рассматриваемой террито-

рии удаленность от основных элементов инфраструктуры. Это дает возможность оценить уязвимость региона (в случае форс-мажорной ситуации, при которой может выйти из строя система энергообеспечения либо прекращается транспортное сообщение) и принять решение для определения дальнейшей стратегии освоения территории – создания новых транспортных артерий или систем энергообеспечения.

Из общедоступных источников была собрана картографическая база данных для геоинформационной системы (ГИС) [4-7]. Данные включают в себя линии электропередач (ЛЭП) и газоснабжения, железнодорожные пути и автодороги, реки и акватории мировых океанов, федеральные границы РФ, города, а также расположение АЭС, ГЭС и месторождений полезных ископаемых. В статье предлагается рассмотреть удаленность территории Западной Якутии (таблица 1) в районе месторождения редкоземельных элементов Томтор от рассматриваемых инфраструктурных элементов – ЛЭП, рек и автодорог.

Таблица 1. Угловые координаты расчётной области

Расположение	Координаты
Северо-запад	N73.912 E110.58
Юго-запад	N58.44 E110.58
Северо-восток	N72.74 E112.11
Юго-восток	N58.44 E112.11

2. Результаты расчёта. ГИС была дополнена математическими расчетами. Методами пространственного анализа оценивается удаленность определённых территорий Российской Федерации в зависимости от указанных ранее инфраструктурных элементов.

Подход к оценке доступности транспортной и энергетической инфраструктуры в выбранном месте можно отнести к одному из методов пространственного анализа — направлению в современной географической науке, соединяющего компьютерное моделирование в геоинформационных системах (ГИС) с пространственной метрикой и математической статистикой. Пространственный анализ – это произведение вычислительных операций над гео-данными с целью извлечения из них дополнительной информации. Совокупность методов проведения операций над данными обеспечивает анализ расположения, связей, закономерностей и иных пространственных отношений объектов [8].

Технологии пространственного анализа данных в ГИС включают 4 типа базовых операций [9]:

- объединение смежных объектов, относящихся к одному классу;
- вырезание подмножества объектов для создания нового слоя;
- анализ близости объектов, включая построение буферных зон;
- наложение слоев.

В принципе, в рамках пространственного анализа может быть рассмотрен любой масштаб – как региональный, так и локальный. Необходима только нужная детализация инфраструктурных элементов в рамках выбранного масштаба. Для рассматриваемой далее территории Западной Якутии с помощью программных модулей, написанных на языке Python [5], и модулей QGIS [4, 6, 7, 10] рассчитаны региональные «матрицы удалённости». Алгоритм расчёта для рассматриваемой территории следующий. Область размером 1700 км на 650 км разбивается на 60x60 расчётных точек и для каждой точки вычисляется удаленность до ближайшего инфраструктурного элемента – реки, автодороги или ЛЭП. Затем по полученным расчётным точкам производится интерполяция на всю расчётную область и строится карта - матрица удаленности

Рассматриваются несколько вариантов расчёта удаленности. Совместно все три указанных ранее элемента, по два и для каждого по отдельности (рис. 1). Для совместных расчётов

вес каждого инфраструктурного элемента считается одинаковым. Для всех вариантов, позволяющих учитывать инфраструктурные элементы как совместно (суперпозиция), так и по отдельности, рассчитаны матрицы удаленности.

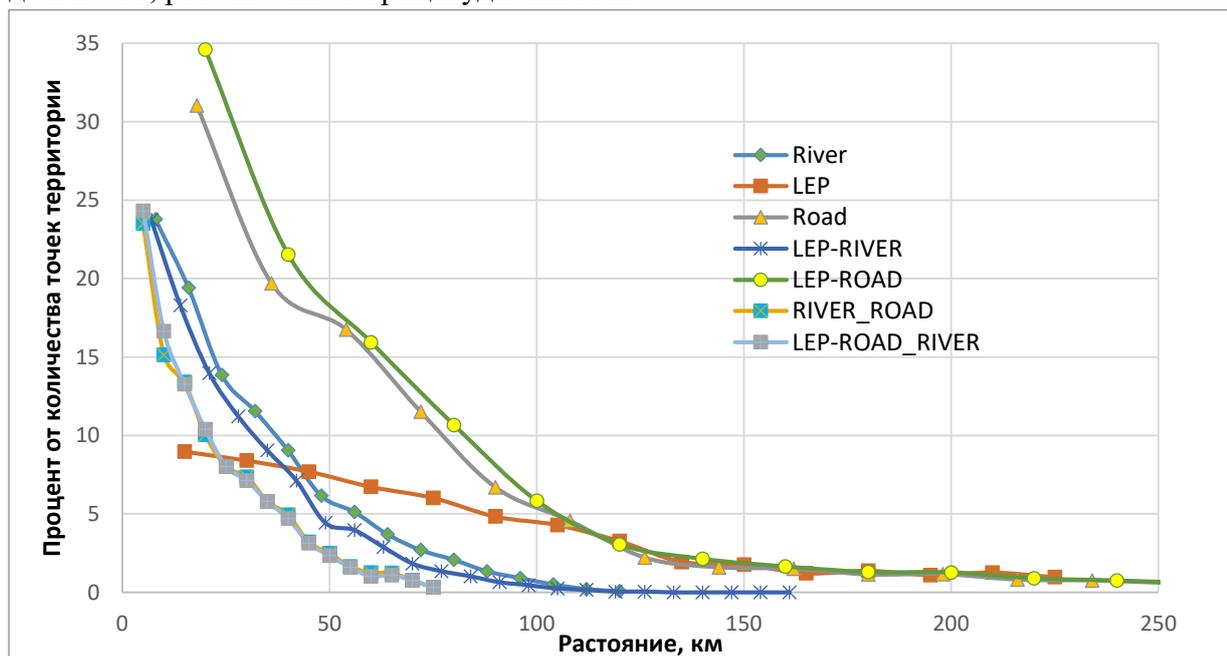


Рис. 1. Статистика распределения удаленности от основных инфраструктурных объектов

Далее приводятся результаты расчёта, показанные в виде матриц удаленности. Под матрицами удаленности здесь понимается характеристика каждой точки расчётной области с точки зрения ее удаленности (расстояния) для ближайшего инфраструктурного объекта - реки, автодороги, линии электропередач.

Результаты расчёта удаленности рассматриваемой территории от структурных элементов в виде матрицы удаленности показаны ниже (рис. 2 - рис. 4).

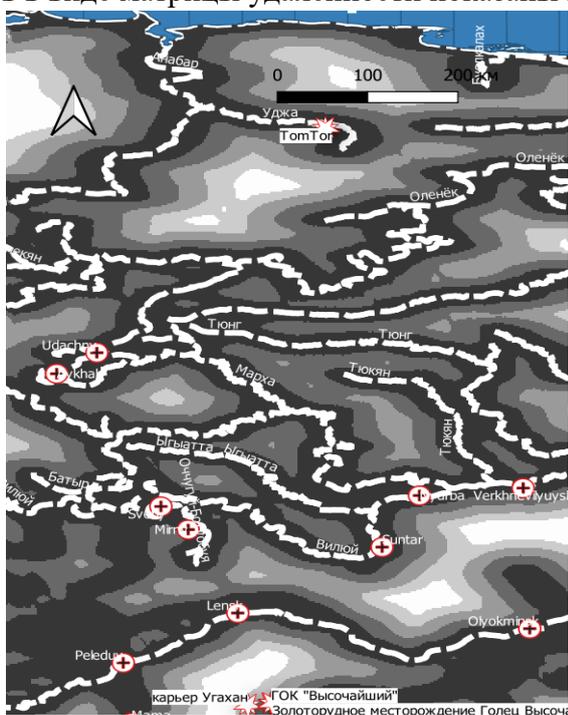


Рис. 2. Результаты расчёта удаленности для структурных элементов «Реки»

Статистика расчёта удаленности для структурных элементов «Реки» (рис. 2) такова, что всего 24% расчётных точек удалены от рек менее чем на 7 км. Остальные точки распределены так, что удалённости составляют от 7 до 115 км. Большое количество белых участков (удаленностей >100 км) отмечаются в юго-восточной и северной части, где речная сеть слабо развита. Присутствие вблизи месторождения Томтор реки Уджа делает его «временно» доступным, т.е. в зимнее время, когда существует возможность транспортировки по автозимникам – замерзшим руслам рек. В случае отсутствия такой возможности в летний период этот район перестает быть доступным.

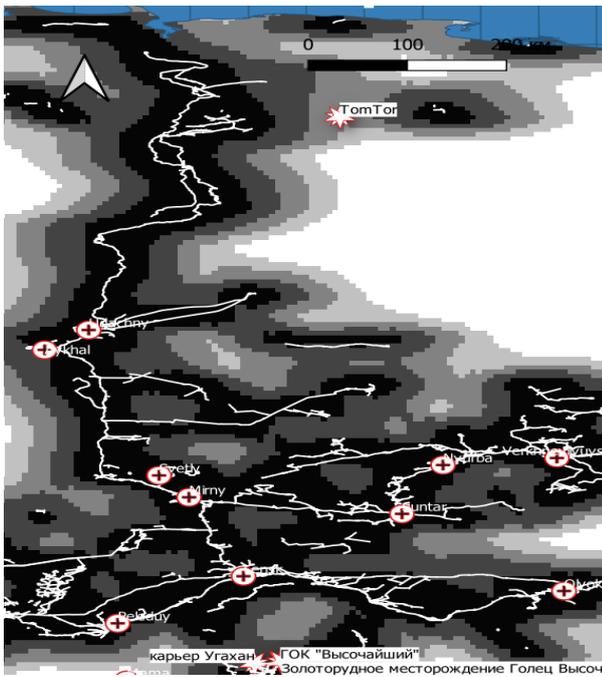


Рис. 3. Результаты расчёта удаленности для структурных элементов «Дороги»

Матрицы удаленности для структурных элементов «ЛЭП» приведены на рис. 4.

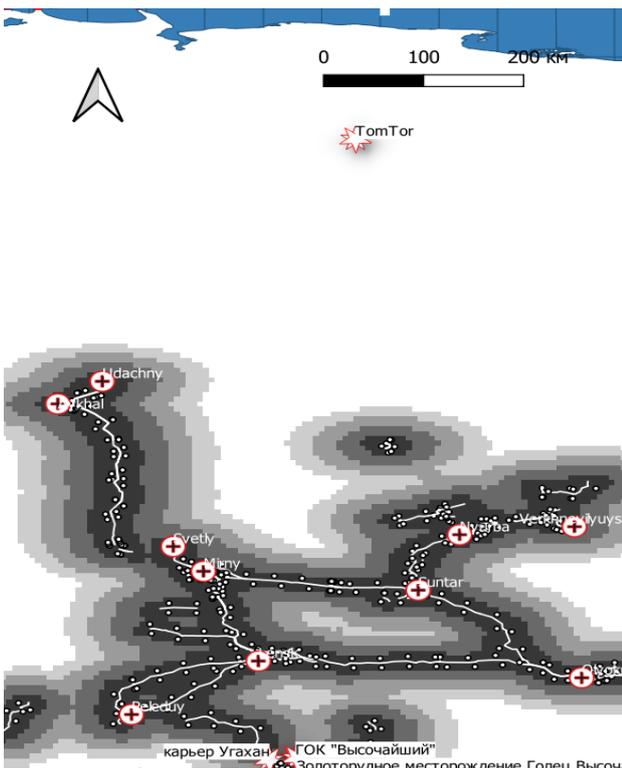


Рис. 4. Результаты расчёта удаленности для структурных элементов «ЛЭП»

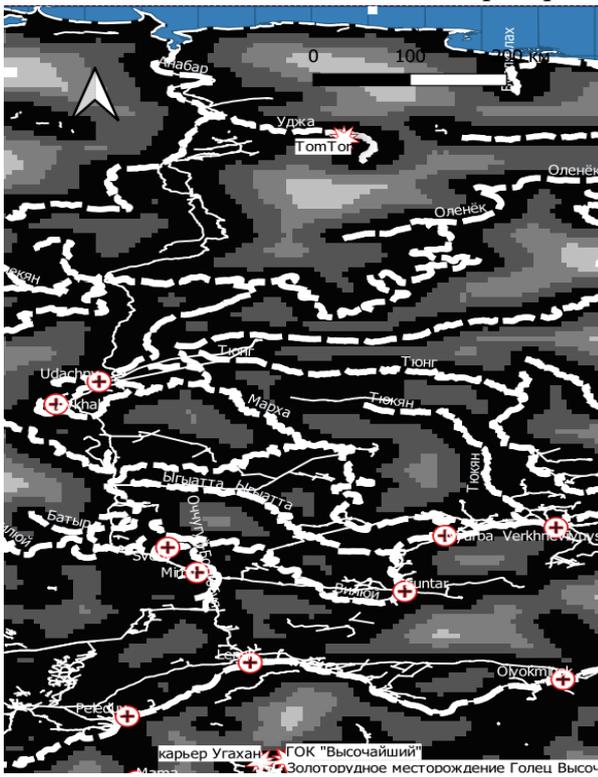
Для совмещенных расчётов результаты приведены на рисунках 5а) - 5д) Если посмотреть на статистику (рис. 1) процентного распределения расчётных точек, то можно отметить следующее. В совмещенных расчётах превалирует тот структурный элемент, который находится ближе; в основном это реки. В ряде случаев, когда ЛЭП расположена вдоль автодорог, статистические распределения совмещенных расчётов (где присутствует ЛЭП) практически

На рис. 3 показаны результаты расчёта для структурных элементов «Дороги».

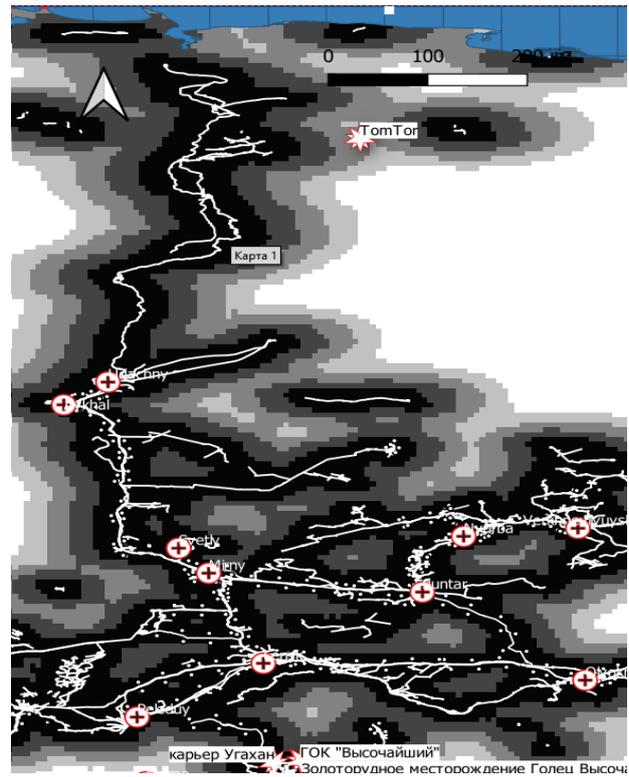
Статистика удаленности для этого расчёта такова, что <30% расчётных точек удалены от дорог менее, чем на 18 км. Остальные точки распределены так, что удалённости составляют от 18 до 250 км. Большое количество белых участков (удаленностей >100 км) отмечается в восточной части, где сеть автодорог не развита совсем.

В основном линии электропередач проходят вдоль автодорог (в иллюстрации накладываются друг на друга). Только в юго-восточной части существует ветка ЛЭП без автодорог. В основном ЛЭП сосредоточены в южной части расчётной области и заканчиваются в районе города Удачный. Севернее этого места ЛЭП нет и везде отмечаются белые участки. Статистика удаленности для этого расчёта (рис. 2в) такова, что 9% расчётных точек удалены от ЛЭП менее, чем на 15 км. Остальные точки распределены так, что удалённости составляют от 7 до 250 км. Сеть ЛЭП слабо развита в северной части расчётной области.

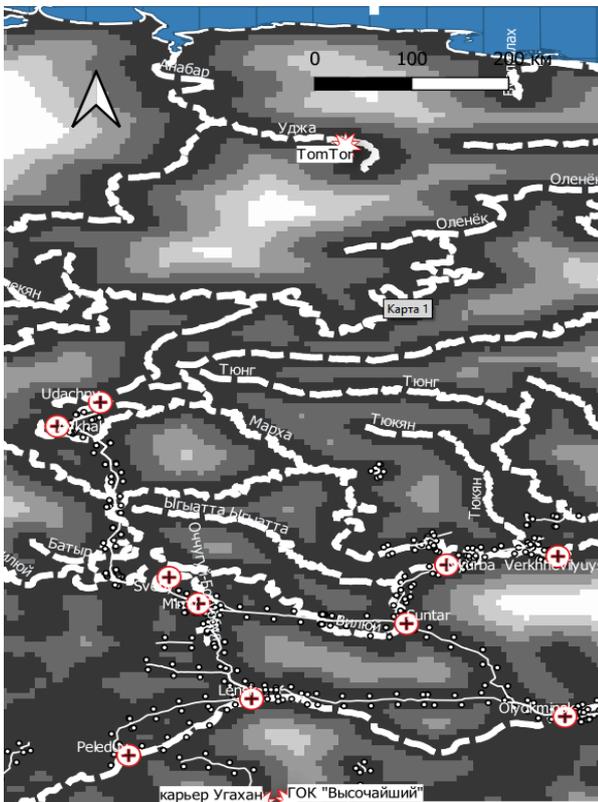
совпадают с расчётами остальных структурных элементов, где ЛЭП нет. В плане энергообеспечения, реки и дороги можно рассматривать в единой связке с ЛЭП как линии доставки топлива для локальных дизельгенераторов.



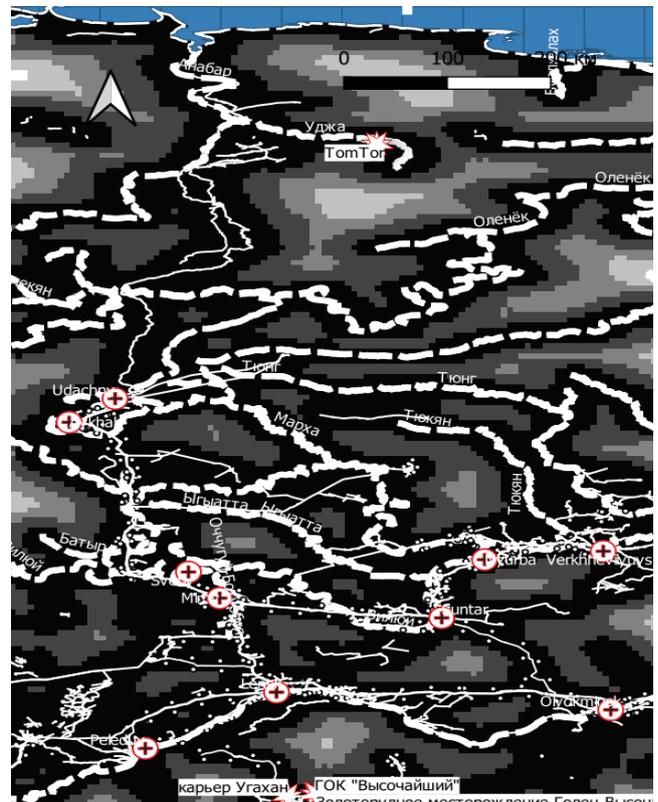
5а



5б



5с



5д

Рис. 5. Результаты расчёта удаленности рассматриваемой территории от структурных элементов.

а) реки и дороги, б) ЛЭП и реки, в) ЛЭП и автодороги, д) ЛЭП, автодороги и реки.

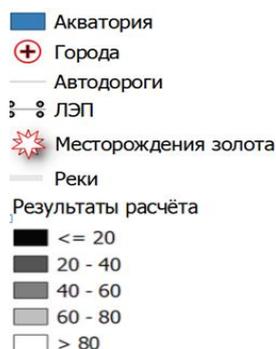


Рис 6. Условные обозначения для рис.2 - рис.5

Представленный анализ первоначально имел своей целью оценить перспективность территорий для размещения новых автономных атомных энергоисточников – АЭС малой мощности, поскольку доставка топлива по линии северного завоза в удаленные пункты до сих пор сопряжена с повышенными расходами и рисками, и с течением времени трудности только усугубляются.

Следует учесть, что реки в рассмотренном регионе могут быть использованы в качестве транспортных артерий только в зимний период («зимники»); в летний период они несудоходны. Сильные снегопады, туманы и ледяной дождь несут риск сделать недоступными автодороги из-за образования гололедицы или снежных препятствий; снегопад или ледяной дождь – к обрушению опор ЛЭП и прекращению передачи электроэнергии на каком-то участке либо по всей сети.

Выводы. Работа носит прикладной характер. С помощью разработанного инструментария для выбранного региона «месторождение Томтор» определена удаленность от объектов транспортной и логистической инфраструктуры. Предложенный алгоритм оценки удалённости чувствителен к виду структурных объектов и зависит от линейного расположения рек, автодорог и линий электропередач.

Результаты расчётов и их графическое представление помогут в принятии решений по стратегии освоения региона и оценке различных рисков на начальных этапах хозяйственного освоения территорий.

Дальнейшие расчёты позволят наметить стратегию расположения новых энергетических установок. Расчёты могут быть использованы для оценки удаленности от ЛЭП для вновь создаваемых энергообъектов, в частности, АЭС малой мощности. Очевидно, что при введении новых энергоисточников и сетей энергоснабжения количество инфраструктурно не обеспеченных территориальных «белых пятен» будет снижаться. С помощью разработанного инструментария можно также оценить удаленности от структурных объектов для регионов с более богатой инфраструктурой и для них выявить наличие «белых пятен». Это поможет оценить риски, например, при выходе из строя энергетической системы либо остановки транспортного сообщения.

В качестве численных величин при сравнительной многопараметрической оценке [9 - 12] нескольких точечных местоположений предложено использовать кратчайшие расстояния до объектов инфраструктуры. Эти характеристики также могут быть использованы при оценке экономического эффекта, например, изменения себестоимости электроэнергии в регионе в случае введения нового энергоисточника или локальной изолированной энергосистемы в сравнении с комбинированной доставкой дизельного топлива в рамках северного завоза.

Благодарности. Работа выполняется при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №2222 от 23.10.2020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, С.М. Сендеров и др. Новосибирск: Наука, 2011. 211 с.
2. Алексеев П.Н., Субботин С.А., Стукалов В.А., Щепетина Т.Д. Система атомных станций малой мощности как фактор национальной безопасности // Академия энергетики. 2015. № 2 (64). С. 74-79.
3. Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Карпачевский А. М., Филиппова О. Г. Картографирование структуры изолированных энергосистем (на примере Камчатского края, Магаданской и Сахалинской областей) // Геодезия и картография. 2017. Т. 78. № 5. С. 56–63. DOI: 10.22389/0016-7126-2017-923-5-56-63.
4. Домашняя страница приложения QGIS 3.0. Режим доступа: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 27.05.2021).
5. Домашняя страница языка программирования Python 3.7. Режим доступа: <https://www.python.org/downloads/release/python-370/> (дата обращения: 27.05.2021).
6. Всемирная система геодезических параметров Земли (Система координат WGS 84) Режим доступа: <https://geostart.ru/post/324#> (дата обращения: 20.05.2021).
7. Система координат Режим доступа: <https://epsg.io/4326> (дата обращения: 20.05.2021).
8. Лахина Е.Р., Томакова Р.А. Технология пространственного анализа данных в геоинформационных системах. / Программная инженерия: современные тенденции развития и применения (ПИ-2020). Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию создания кафедры программной инженерии. 2020.
9. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа: учеб. пособие. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. 88 с.
10. Векторный формат географических файлов Режим доступа: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> (дата обращения: 20.05.2021).
11. Шакиров В.А., Панкратьев П.С. Методика многокритериального двухуровневого анализа пунктов размещения электростанций // Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. №1. С. 69-83.
12. Елтаренко Е.А. Методы оценки и выбора инженерных и управленческих решений. Учебное пособие. Москва. МИФИ. 1987. 54с.
13. Перминов Г.И. Метод выделения общности в альтернативах и критериях в задачах принятия решений // Социология науки и технологий. 2011. Том 2. №2. С. 90-104.
14. Подиновский В.В., Потапов М.А. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: PRO ET CONTRA // Бизнес-информатика. №3 (25). 2013. С. 41-48.

**APPLICATION OF A GEOINFORMATION SYSTEM
FOR ASSESSING THE INFRASTRUCTURE ACCESSIBILITY OF REGIONS
FROM THE PERSPECTIVE OF LAND USE PLANNING AND DEVELOPMENT**

Ivan A. Rastorguev

Ph.D., senior researcher, e-mail: rastorguev_ia@nrcki.ru

Tatiana D. Shchepetina

Ph.D., head of laboratory "Perspective Concepts" e-mail: Schepetina_TD@nrcki.ru

Andrey L. Balanin

senior researcher, e-mail: Balanin_AL@nrcki.ru

National Research Center "Kurchatov Institute",
123182, Moscow, sq. Kurchatova, 1.

Abstract. The analytical GIS program is intended for the purposes of a multi-parameter assessment of transport and energy infrastructure availability, potential for mining, incl. energy resources, as well as availability of alternative renewable energy sources in a certain geographic location, promising from point of requirement for energy production deployment, located in remote or inaccessible regions of Russia; for the purposes of strategic planning of the development of regions, the development of new territories, incl. deposits of various resources. Practical application of GIS makes it possible to increase the efficiency of the strategic decision-making process.

Keywords: GIS, Python, QGIS, Arctic territories of the Russian Federation, infrastructure, nuclear energy, optimization.

Acknowledgments: The work is carried out with the support of the National Research Center "Kurchatov Institute" (order №. 2222 dated 23.10.2020).

REFERENCES

1. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti reshenija [Energy security of Russia: problems and solutions] / N.I. Pyatkova, V.I. Rabchuk, S.M. Senderov and others. Novosibirsk: Nauka= Novosibirsk: Science. 2011. 211 p. (in Russian)
2. Alekseev P.N., Subbotin S.A., Stukalov V.A., Shchepetina T.D. Sistema atomnyh stancij maloj moshchnosti kak faktor nacional'noj bezopasnosti [The system of small nuclear power plants as a factor of national security] // Akademiya energetiki = Energy Academy. 2015. № 2 (64). Pp. 74-79 (in Russian)
3. Novakovskiy B.A., Prasolova A.I., Karpachevskiy A.M., Filippova O.G. Kartografirovaniye struktury izolirovannykh energosistem (na primere Kamchatskogo kraya, Magadanskoj i Sahalinskoj oblastej) [Cartography of the structure of isolated power systems (on the example of the Kamchatka Territory, Magadan and Sakhalin regions)] // Geodeziya i kartografiya = Geodesy and Cartography. 2017. Vol. 78. № 5. Pp. 56-63. DOI: 10.22389 / 0016-7126-2017-923-5-56-63 (in Russian)
4. Home page of the QGIS 3.0 application. Available at: <https://qgis.org/ru/site/> (accessed 05.27.2021) (in Russian)
5. Home page of the Python programming language 3.7. Available at: <https://www.python.org/downloads/release/python-370/> (accessed 27.05.2021) (in Russian)
6. World system of geodetic parameters of the Earth (Coordinate system WGS 84). Available at: <https://geostart.ru/post/324#> (accessed 27.05.2021) (in Russian)

7. Coordinate system. Available at: <https://epsg.io/4326> (accessed 20.05.2021) (in Russian)
8. Lahina E.R., Tomakova R.A. Tekhnologiya prostranstvennogo analiza dannyh v geoinformacionnyh sistemah. [Spatial data analysis technology in geographic information systems.] / Programmная инженерия: sovremennye tendencii razvitiya i primeneniya (PI-2020). Sbornik materialov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 30-letiyu sozdaniya kafedry programmnoj inzhenerii = Software Engineering: Current Trends in Development and Application (PI-2020). Collection of materials of the IV All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the creation of the Department of Software Engineering. 2020 (in Russian)
9. Shihov A.N., Cherepanova E.S., P'yankov S.V. Geoinformacionnye sistemy: metody prostranstvennogo analiza: ucheb. posobie [Geographic information systems: methods of spatial analysis: a tutorial]. Perm. gos. nac. issled. un-t. Perm'. 2017. 88 p. (in Russian)
10. Vector format of geographic files. Available at: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> (accessed 20.05.2021) (in Russian)
11. Shakirov V.A., Pankrat'ev P.S. Metodika mnogokriterial'nogo dvuhurovneвого analiza punktov razmeshcheniya elektrostancij [Methodology for multicriteria two-level analysis of power plant locations] // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshe-nij = Artificial intelligence and decision making. 2017. №1. Pp. 69-83 (in Russian)
12. Eltarenko E.A. Metody ocenki i vybora inzhenernyh i upravlencheskih reshenij. Uchebnoe posobie [Methods for evaluating and choosing engineering and management solutions. Tutorial]. Moskva. MIFI. 1987. 54 p. (in Russian)
13. Perminov G.I. Metod vydeleniya obshchnosti v al'ternativah i kriteriyah v zadachah prinya-tiya reshenij [The method of identifying commonality in alternatives and criteria in decision-making problems] // Sociologiya nauki i tekhnologij = Sociology of Science and Technology. 2011. Vol 2. № 2. Pp. 90-104. (in Russian)
14. Podinovskij V.V., Potapov M.A. Metod vzveshennoj summy kriteriev v analize mnogokriterial'nyh reshenij: PRO ET CONTRA [Weighted sum of criteria method in the analysis of multicriteria decisions: PRO ET CONTRA] // BIZNES-INFORMATIKA. № 3 (25). 2013. Pp. 41-48. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 10.07.2021; одобрена после рецензирования 29.08.2021; принята к публикации 28.09.2021.

The article was submitted 10.07.2021; approved after reviewing 29.08.2021; accepted for publication 28.09.2021.