

Карпачевский А.М.¹

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРАССЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

АННОТАЦИЯ

В данной работе кратко описана методика создания серии карт, позволяющей на этапе предварительного проектирования линии электропередач получить несколько вариантов размещения ее трассы. Автором предложен подход, при котором картографирование в средних масштабах в целях предварительного обоснования трассы новой линии электропередачи осуществляется на основе открытых данных и учитывает разные географические факторы размещения линий электропередач. К этим факторам относятся существующая электросетевая инфраструктура, пространственная структура и конфигурация электрической сети, максимальные ветровые и гололедные нагрузки, вероятные 1 раз в 25 лет, опасные природные явления, санитарные, хозяйственные и нормативные ограничения, а также потенциальное воздействие на окружающую среду. Использование данных дистанционного зондирования позволяет получить информацию о существующих электрических сетях на основе использования комплексного дешифровочного признака видового состава опор, что затем используется на всех этапах создания картографического обеспечения. Автором впервые предложена методика, позволяющая обосновать варианты трасс линий электропередач на двух уровнях: на первом уровне обосновывается связь между пунктами сети на основе ее структурного анализа; на втором уровне обосновывается конкретное размещение трассы линий электропередач в пределах изучаемой территории между выбранными пунктами. В рамках работы обобщен многолетний опыт работы в данном направлении, включающий интерпретацию данных дистанционного зондирования, пространственных конфигураций электрических сетей, сетевой анализ, оценку структурной надежности энергосистем, картографирование климатических нагрузок, учет социально-экономических факторов и автоматизацию процесса выбора трассы средствами ГИС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационный анализ, комплексное картографирование, предварительное проектирование, принятие решений, электрическая сеть.

Andrey M. Karpachevskiy²

CARTOGRAPHIC SUPPORT FOR PRELIMINARY STUDIES OF POWER LINE ROUTE SELECTION

ABSTRACT

This paper briefly describes the method of creation of a series of maps that allows at the stage of preliminary design of the power line to obtain several options for placing its route. The author proposes an approach in which mapping at medium scales for the purpose of preliminary

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские Горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail*: karpach-am@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail*: karpach-am@yandex.ru

studies of the route of a new power line is carried out on the basis of open access data and takes into account different geographical factors of power lines placement. These factors include the existing electric grid infrastructure, the spatial structure and configuration of the electric network, the maximum wind and ice loads likely 1 time in 25 years, natural hazards, sanitary, economic and regulatory restrictions, as well as the potential impact on the environment. The use of remote sensing data provides information on existing electrical networks through the use of a interpretation feature of the power line pylon species composition, which is then used at all stages of the creation of map series. The author for the first time offers a technique that allows to carry out the variants of power lines routes at two levels: at the first level the connection between the network points on the basis of its structural analysis; on the second level the concrete placement of the route of power lines within the studied territory between the chosen points is proved. The work summarizes many years of experience in this field, including the interpretation of remote sensing data, spatial configurations of electrical networks, network analysis, assessment of the structural reliability of power systems, mapping of climatic loads, taking into account socio-economic factors and automation of the process of route selection by GIS.

KEYWORDS: GIS-analysis, complex mapping, preliminary design, decision making, power grid.

ВВЕДЕНИЕ

Линии электропередач (ЛЭП) – зачастую протяженные объекты, проходящие в различных природных и социально-экономических условиях. В отличие от площадных объектов, месторасположение которых может быть определено простым наложением факторов (взвешенный оверлей), размещению линейного объекта должна удовлетворять непрерывная полоса земной поверхности от пункта А до пункта Б. На предварительном этапе проектирования обосновывается не один, а несколько вариантов размещения одной и той же ЛЭП, из которых потом выбирают наилучший. Эти варианты могут отражать точки зрения различных групп интереса, к которым относятся проектировщики, местные жители, строители, экологи и т. д. Наиболее существенные факторы размещения ЛЭП могут быть сгруппированы в условные пять групп:

1. Существующая электросетевая инфраструктура;
2. Климатические нагрузки;
3. Опасные природные явления;
4. Санитарные и хозяйственные ограничения;
5. Потенциальное воздействие на окружающую среду.

Для каждой из этих групп может быть составлена карта или серия карт, дающая оценку территории с точки зрения возможности размещения ЛЭП. Особо оговорим, что в данной статье рассматривается только воздушное исполнение ЛЭП. Для обоснования нескольких вариантов размещения проектируемого объекта необходимо совместить карты всех существенных факторов с учетом их иерархии, взаимосвязи и пространственной локализации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевым источником данных на большинстве этапов предварительного обоснования трассы ЛЭП служат данные дистанционного зондирования (ДДЗ). На основе данных очень высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, предоставленных открытыми веб-картографическими сервисами представляется возможным распознать объекты существующей электросетевой инфраструктуры. К ним относятся электростанции, электрические подстанции, переходные пункты, пункты секционирования и собственно

воздушные линии электропередачи (ВЛ). По космическим снимкам такого разрешения возможно не только локализовать объекты [Matickainen et al., 2016], но и распознать их ключевые свойства: класс напряжения, количество цепей, видовой состав опор ЛЭП. Постепенное уменьшение масштаба и обобщение полученных данных позволяет увидеть некоторые закономерности размещения объектов на основе пространственных конфигураций электрической сети и топоморфологических отношений [Каргашин и др., 2016].

При векторизации сети и ее обобщении в базе пространственных данных возможно построить сетевую модель, которая позволяет решать различные задачи, в том числе при планировании развития сети. Мы исходим из того, что новые ЛЭП строятся либо для подключения новых потребителей, либо для повышения надежности энергоснабжения уже подключенных потребителей. В обоих случаях начальный и конечный пункты, между которыми будет построена ЛЭП, будут определяться структурными особенностями сети, т. е. сложившимся взаиморазмещением объектов в рамках сетевой модели. Структура может отражаться в различных свойствах, рассчитываемых в ходе сетевого анализа: степень вершины, альтернативность подключения потребителя, центральная ось (нагрузка) [Motter, Lai, 2002; Pagani, Aiello, 2013; Новаковский и др., 2017б].

Учет климатических нагрузок очень важен при выборе трассы и ЛЭП, и типового проекта опор. Особенно ярко это проявляется в горных и слабо изученных территориях, поскольку ключевые климатические характеристики – максимальная скорость ветра и максимальная толщина стенки гололеда, вероятные 1 раз в 25 лет – имеют свойства расти с подъемом от подножия к вершине склонов [Подрезов, 1990]. При картографировании этих показателей имеет смысл пользоваться либо детерминированными зависимостями от приведенной (нормализованной) высоты, либо пространственно взвешенной регрессии от множества факторов: высоты, удаленности от морских побережий, защищенности от преобладающих направлений ветра и других.

Опасные природные явления: карст, лавины, сели, оползни и прочие – в обязательном порядке наносятся на соответствующие карты при обосновании вариантов трасс ЛЭП. Существуют достаточное количество методик, позволяющих оценить селеопасность и лавиноопасность горных территорий [Ревякин, Кравцова, 1977; Перов, 2012] на основе открытых данных о рельефе (цифровые модели рельефа), геологии (Госгеолкарта-200) подстилающей поверхности (ДДЗ) и количестве осадков (климатические справочники). Для многих других природных явлений возможностей использования открытых данных меньше.

Санитарные и хозяйственные ограничения определяются рядом объектов, включая существующие электрические сети, трубопроводы, транспортную сеть, населенные пункты, особо охраняемые природные территории, объекты культурного наследия и т. д. При картографировании этих объектов важно учитывать не только их непосредственную локализацию, но и наличие охранных, санитарных зон вокруг них. Эти зоны могут зависеть как от характеристик самого объекта, так и от особенностей проектируемой ЛЭП [Новаковский и др., 2017а]. Источником данных служат Публичная кадастровая карта, генеральные планы поселений и ДДЗ очень высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

Оценка потенциального воздействия на окружающую среду на этапе предварительного проектирования ЛЭП также может опираться на открытые данные – цифровые модели рельефа, геологическую карту масштаба 1 : 200 000, ДДЗ высокого и очень высокого пространственного разрешения. Ключевые аспекты воздействия подразделяются на вероятность активизации эрозии, вероятность заболачивания, степень модификации природно-территориальных и природно-антропогенных комплексов и фрагментацию лесных массивов просеками ЛЭП (рис. 1) [Luken et al., 1992; Soini et al., 2009].

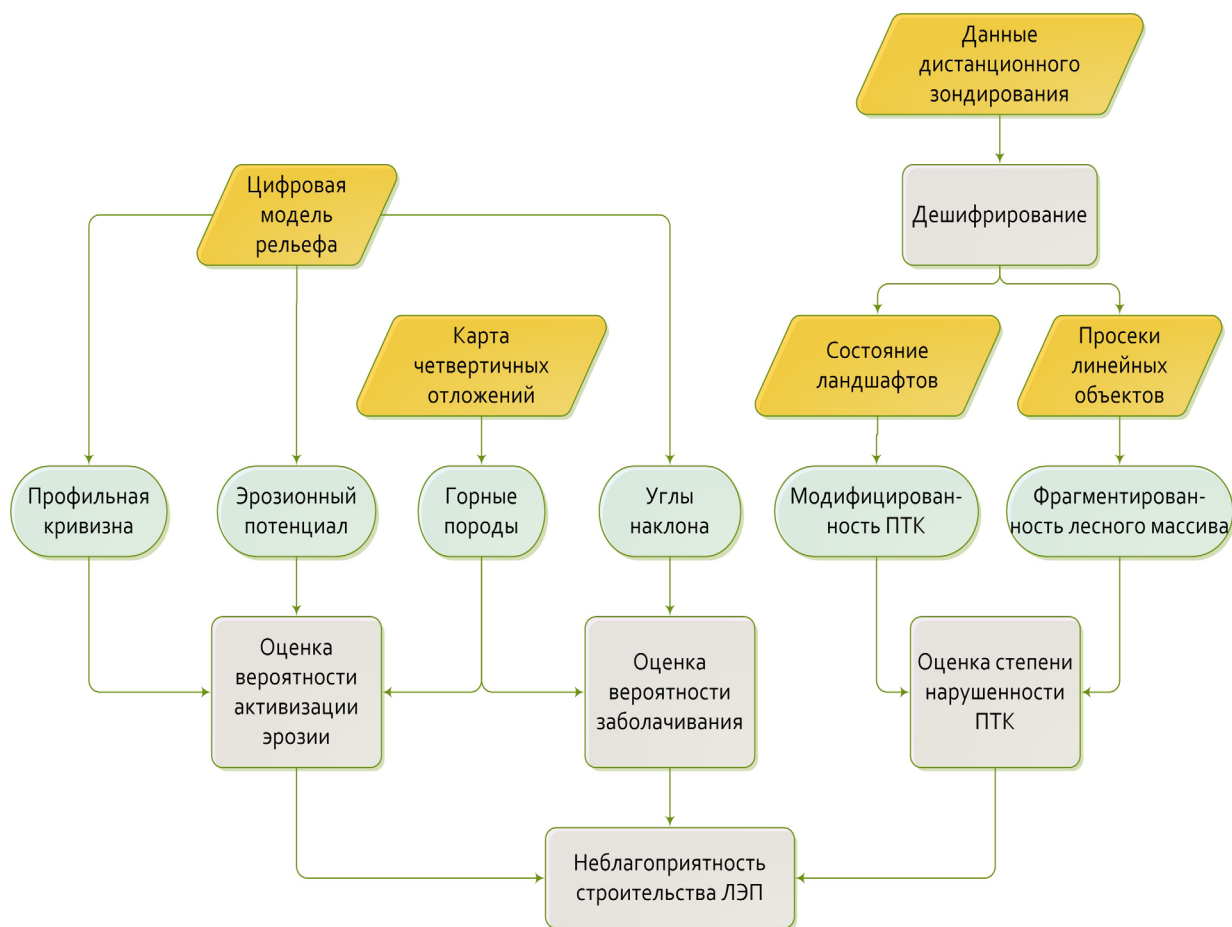


Рис. 1. Информационный процесс при картографической оценке потенциального воздействия на окружающую среду: параллелограммами показаны исходные данные, овалами – промежуточные показатели, прямоугольниками – процедуры

Fig. 1. Information process during the map assessment of the potential impact on the environment: parallelograms show the original data, ovals show intermediate parameters, rectangles – the procedures

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вся структура принятия решений при обосновании вариантов трассы линий электропередач может быть представлена в виде схемы (рис. 2). При следовании данной схеме серия карт позволяет обеспечить двухуровневую многовариантность размещения линейного объекта. Это свойство заключается в многовариантности маршрута ЛЭП, т. е. выборе пунктов электрической сети, которые будут соединены новым линейным объектом, и многовариантности трассы ЛЭП, т. е. конкретной реализации маршрута линии на местности.

Серыми параллелограммами показаны исходные данные для составления карт и геоинформационного моделирования. Прямоугольниками показаны процедуры обработки, анализа и моделирования первичных или производных пространственных данных. Ромбы – промежуточные модели или представление данных, которое необходимо для дальнейшего анализа. Фигуры – конкретные карты, составленные на основе анализа и моделирования. Пунктирной линией разделяются концептуальные блоки: верхний блок – сбор исходных данных, левый блок – обоснование маршрута ЛЭП, правый блок – оценка территории с точки зрения возможности размещения ЛЭП, нижний блок – обоснование вариантов трассы ЛЭП.

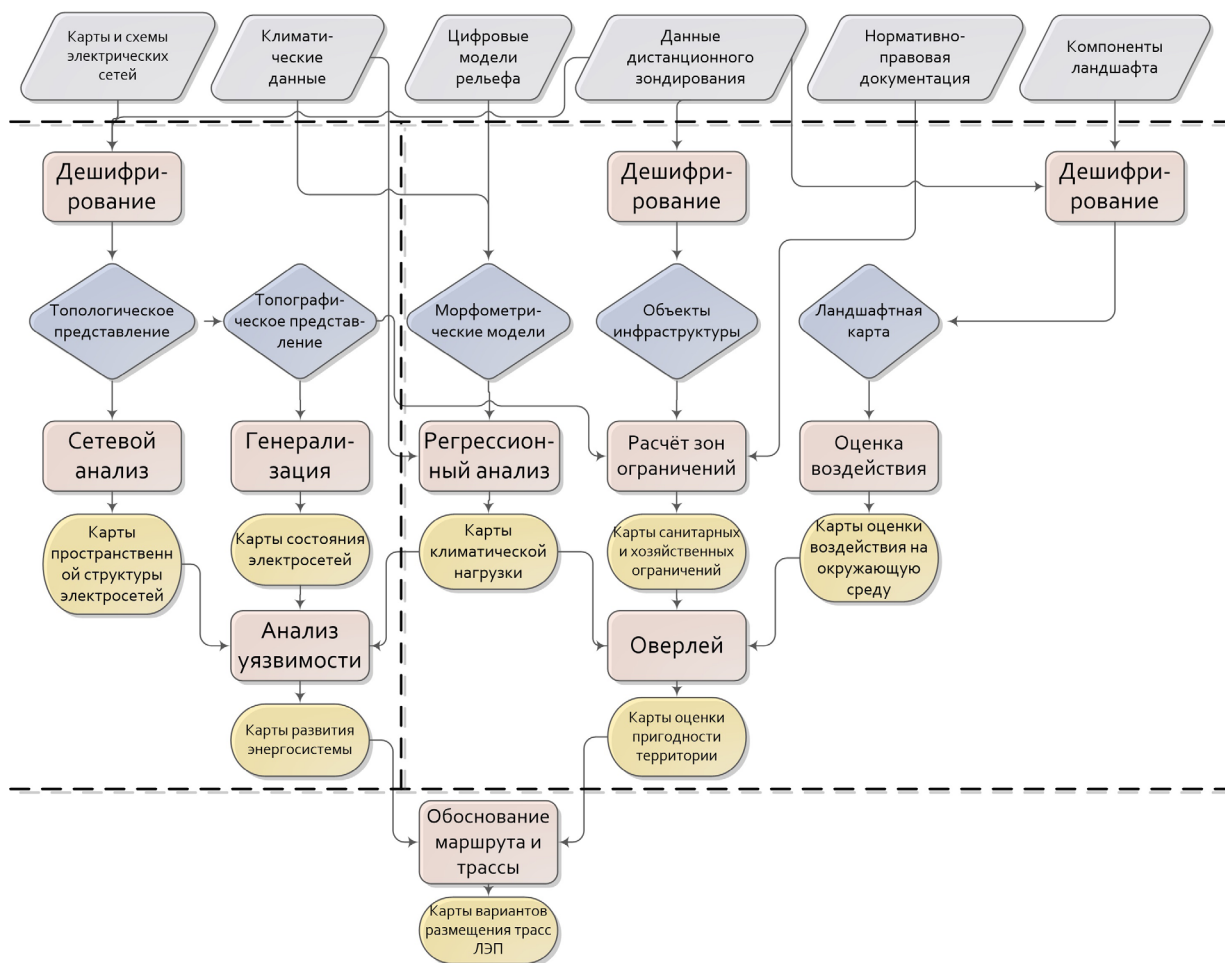


Рис. 2. Общая схема методики создания картографического обеспечения
предпроектных исследований при строительстве ЛЭП

Fig. 2. The general scheme of the creation of cartographic support for preliminary
studies in case of power lines construction

Совмещение отдельных слоев базы пространственных данных, участвующих в разных картах, может осуществляться по-разному. Нами был выбран путь ранжирования через балльные оценки и нахождение среднего геометрического балла при совмещении нескольких слоев. Другой вариант представляет собой использование взвешенного оверлея, где каждому слою соответствует вес, отражающий значимость той или иной группы интереса при проектировании объекта [Monteiro et al., 2005; Schmidt, 2009; Yildirim, Nisanci, 2010; Eroglu, Audin, 2015].

ВЫВОДЫ

Разработанная методика создания картографического обеспечения при предварительном обосновании трассы ЛЭП характеризуется несколькими ключевыми свойствами:

- Использование открытых данных при картографировании в средних масштабах (1 : 200 000–1 : 500 000);
- Согласованность представления данных в базе пространственных данных и на картах;
- Иерархический процесс обоснования, основанный на последовательном учете различных природных и социально-экономических факторов;
- Двухуровневая многовариантность размещения ЛЭП, позволяющая сначала определить оптимальный маршрут, а затем оптимальную трассу с учетом различных групп интереса.

Таким образом, использование данной методики позволяет повысить эффективность планирования развития энергосистемы и проектирование трассы ЛЭП путем использования картографических, геоинформационных и аэрокосмических методов, а также методов из теории графов и регрессионного анализа.

Представленные в статье итоги исследований являются частью работ, выполняемых авторами по проекту, поддержанному РФФИ и РГО № 17-05-41115 РГО_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Карначевский А.М.* Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам // *Геодезия и картография*. 2016. № 3. С. 50–55.
2. *Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Карначевский А.М., Филиппова О.Г.* Картографирование структуры изолированных энергосистем (на примере Камчатского края, Магаданской и Сахалинской областей) // *Геодезия и картография*. 2017а. № 5. С. 56–63.
3. *Новаковский Б.А., Каргашин П.Е., Карначевский А.М.* Геоинформационный анализ территории для автоматизированного выбора трассы ЛЭП // *Геоинформатика/Geoinformatika*. 2017б. № 2. С. 30–38.
4. *Перов В.Ф.* Селеведение. Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 272 с.
5. *Подрезов О.А.* Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 224 с.
6. *Ревякин В.С., Кравцова В.И.* Снежный покров и лавины Алтая. 1977. 213 с.
7. *Eroglu H., Audin M.* Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS // *Turk J Elec Eng & Comp Sci*. 2015. No 23. P. 1418–1430.
8. *Luken J.O., Hinton A.C., Baker D.B.* Response of Woody Plant Communities in Power-Line Corridors to Frequent Anthropogenic Disturbance // *Ecological Applications*. 1992. V. 2, No 4. P. 356–362.
9. *Matikainen L., Lehtomäki M., Ahokas E., Huypä J., Karjalainen M., Jaakkola A., Kukko A., Heinonen T.* Remote sensing methods for power line corridor surveys // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2016. No 119. P. 10–31.
10. *Monteiro C., Ramires-Rosado I.J., Miranda V., Zorzano-Santamaria P.J., Garcia-Garrido E., Fernandez-Jimenez L.A.* GIS spatial analysis applied to electric line routing optimisation // *IEEE Transactions on Power Delivery*. April 2005. V. 20, No 2. P. 934–942.
11. *Motter A.E., Lai Y-C.* Cascade-based attacks on complex networks // *Physical Review E*. 2002. No 66 (6). 065102. 4 p.
12. *Pagani G.A., Aiello M.* The Power Grid as a Complex Network: a Survey // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2013. V. 392, No 11. P. 2688–2700.
13. *Schmidt A.J.* Implementing a GIS Methodology for Siting High Voltage Electric Transmission Lines // *Papers in Resource Analysis*. 2009. V. 11. 17 p.
14. *Soini K., Pouta E., Salmiovirta M., Uusitalo M., Kivinen T.* Perceptions of power transmission lines among local residents: A case study from Finland. Helsinki, 2009. 22 p.
15. *Yildirim V., Nisanci R.* Developing a geospatial model for power transmission line routing in Turkey // *FIG Congress 2010. Facing the challenges - Building the capacity*. Sydney, Australia, 2010.

REFERENCES

1. *Eroglu H., Audin M.* Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. *Turk J Elec Eng & Comp Sci*. 2015. No 23. P. 1418–1430.

2. *Kargashin P.E., Novakovsky B.A., Prasolova A.I., Karpachevsky A.M.* Study of the isolated power grid spatial configurations using space images. *Geodesy and Cartography*. 2016. No 3. P. 53–58 (in Russian).
3. *Luken J.O., Hinton A.C., Baker D.B.* Response of Woody Plant Communities in Power-Line Corridors to Frequent Anthropogenic Disturbance. *Ecological Applications*. 1992. V. 2, No 4. P. 356–362.
4. *Matikainen L., Lehtomäki M., Ahokas E., Hyypä J., Karjalainen M., Jaakkola A., Kukko A., Heinonen T.* Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2016. No 119. P. 10–31.
5. *Monteiro C., Ramires-Rosado I/J., Miranda V., Zorzano-Santamaria P.J., Garcia-Garrido E., Fernandez-Jimenez L.A.* GIS spatial analysis applied to electric line routing optimization. *IEEE Transactions on Power Delivery*. April 2005. V. 20, No 2. P. 934–942.
6. *Motter A.E., Lai Y-C.* Cascade-based attacks on complex networks. *Physical Review E*. 2002. No 66 (6). 065102, 4 p.
7. *Novakovsky B.A., Kargashin P.E., Karpachevsky A.M.* GIS-analysis of the territory for automated power line routing. *Geoinformatika*. 2017a. No 2. P. 30–38 (in Russian).
8. *Novakovsky B.A., Prasolova A.I., Karpachevsky A.M., Filippova O.G.* Mapping of the isolated power grids spatial structure (case study of Kamchatka, Magadan and Sakhalin regions). *Geodesy and Cartography*. 2017b. No 5. P. 56–63 (in Russian).
9. *Pagani G.A., Aiello M.* The Power Grid as a Complex Network: a Survey. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2013. V. 392, No 11. P. 2688–2700.
10. *Perov V.F.* Selevedenie. Moscow, MSU, faculty of geography, 2012. 272 p.
11. *Podrezov O.A.* Dangerous wind speeds and ice deposits in mountainous areas. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 224 p.
12. *Revyakin V.S., Kravtsova V.I.* Snow cover and avalanches of the Altai. 1977. 213 p.
13. *Schmidt A.J.* Implementing a GIS Methodology for Siting High Voltage Electric Transmission Lines. *Papers in Resource Analysis*. 2009. V. 11. 17 p.
14. *Soini K., Pouta E., Salmiovirta M., Uusitalo M., Kivinen T.* Perceptions of power transmission lines among local residents: A case study from Finland. Helsinki, 2009. 22 p.
15. *Yildirim V., Nisanci R.* Developing a geospatial model for power transmission line routing in Turkey. FIG Congress 2010. Facing the challenges - Building the capacity. Sydney, Australia, 2010.