

УДК 625.721:656.13.07

© Ю. Г. Котиков, д-р техн. наук, профессор
© Е. М. Олещенко, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: cotikov@mail.ru

© Ju. G. Kotikov, Dr. Sci. Tech., Professor
© E. M. Oleshchenko, PhD. Sci. Tech., Associate Professor
(Saint-Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: cotikov@mail.ru

АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИПОРТОВОЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

ASPECTS OF MODELING THE MULTIPOINT MULTIMODAL NETWORK OF LENINGRAD REGION

Уникальное расположение Ленинградской области на берегу большого залива с несколькими морскими портами на перекрестке международных транспортных коридоров придает большое значение этому мировому транспортному узлу. На основе рассмотрения мирового опыта организации и функционирования подобных агломераций делается вывод о необходимости формирования мультипортовой мультимодальной транспортно-логистической сети (ММТЛС) Ленинградской области. Обосновывается привлечение мощного инструментария ГИС ArcGIS для моделирования ММТЛС и последующего решения перспективных транспортных задач региона. Уделяется внимание построению базы геоданных. В среде ArcGIS Network Analyst формируются модальные транспортные опорные сети (модальные грузовые каркасы). Приводятся примеры картографических построений и расчетов применительно к Усть-Лужскому морскому порту.

Ключевые слова: транспорт, логистика, ГИС, сети, мультипортовая система, мультимодальность.

Thanks to the unique location of Leningrad region at the large gulf coast with several seaports and at the crossroads of international transport corridors, this world transport hub possesses a great value. Taking into consideration the world experience of organizing and functioning of such agglomerations, the authors make a conclusion that there should be formed a multipoint multimodal transport-logistical network (MMTLN) in Leningrad region. Attraction of the using of powerful toolkit ArcGIS for modeling the MMTLN and the subsequent solving of perspective transport problems of region is substantiated. The construction of geo-data base is discussed. In the environment of ArcGIS Network Analyst, modal transport basic networks (modal cargo skeletons) are formed. Examples of cartographical constructions and calculations with reference to the Ust-Luga seaport are described.

Keywords: transport, logistics, GIS, networks, multipoint system, multimodality.

Анализ географических, экономических особенностей и существующей транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЛО), узловая значимость их в широтном и меридиональном транспортных коридорах приводят к необходимости формирования модели мультипортовой мультимодальной транспортно-логистической сети (ММТЛС), формируемой на основе достижений транспортной географии [1, 2].

Воспользуемся терминологией современной транспортной географии. Концентраторами потоков в сети являются шлюзы (*gateways*) мультимодальных и хабы (*hubs*) унимодальных транс-

портных сетей (на практике зачастую любой концентратор называют хабом). Вершина — любая локализация, у которой есть доступ к сети перевозки; ребро — материальная инфраструктура переноса, которая позволяет подключить две вершины; поток — количество трафика, который циркулирует на ребре между двумя вершинами (также — количество трафика, проходящего через вершину); фидер (питатель) — вершина, которая связана с хабом (может рассматриваться как пункт консолидации и/или распределения); коридор — последовательность вершин и ребер, поддерживающих модальные потоки грузов.

В мировых портах реализуется концепция «Foreland — Hinterland» — это комплекс морского порта и его вынесенных терминалов [1–4]. Такой комплекс встраивается одновременно и в хозяйство региона, и в цепь поставок международных транспортных коридоров (МТК). *Foreland* — морское пространство локаций контрагентов, с которыми порт поддерживает коммерческие отношения и производит товарообмен. *Hinterland* — наземное пространство локаций агентов, сотрудничающих с портом.

Используется понятие *inland* — внутренняя часть страны, территория, удаленная от моря или границы. *Inland-терминал*, сухой порт (*dry port*) — по сути синонимы. Сухой порт выполняет функции перевалочного пункта, значительно разгружая терминалы морского порта, и, как правило, играет роль таможенного терминала. *Hinterland*, содержащий лишь собственные *inland-терминалы* порта, является основным. *Hinterland* может иметь автомобильный, железнодорожный, речной, воздушный и трубопроводный фронты действий. Порт может иметь побочный *Hinterland* — в случае взаимодействия с *inland-терминалами* другого порта.

Woxenius, Roso и др. [3, 4] категоризировали различные сухие порты согласно их функциям и расстояниям от морского порта. Они выделяют три основных категории сухих портов, а именно: ближний (до 100–150 км), среднеотдаленный (до 400–500 км), а также дальний сухие порты (более 500 км). Связано это не только с расстоянием, но также с модальными и организационно-технологическими особенностями транспортировки.

В континентальных зонах деловой активности: Европейской, Северо-Американской и Юго-Восточно-Азиатской — наблюдается интенсивное взаимопроникновение зон *Hinterland* множества портов, приводя к мультипортовости крупных экономических зон и полицентричности транспортно-логистической сети (ТЛС) [5]. Транспортная инфраструктура Санкт-Петербурга и ЛО, имея ожерелье портов на берегу Финского залива, очевидно, должна реализовать вышеизложенные концепции развития транспортной инфраструктуры.

Моделирование и анализ функционирования названного множества объектов требует исполь-

зования геоинформационных технологий уровня ГИС ArcGIS [6].

Важным элементом ГИС-моделирования является его картографическая подготовка. На базе картографических и растровых материалов облака Esri, ресурсов Open Street Map, Google, Yandex, съемок беспилотников и других источников нами осуществлена подготовка картографических слоев ареала Санкт-Петербурга и ЛО, со сведением их в ArcGIS к одной системе географических координат.

Концептуальная проработка мультипортовой ГИС-модели и ее аналитических возможностей сначала была опробована нами на условном примере представления грузовых районов Большого порта Санкт-Петербурга как множества из семи отдельных портов, каждый из которых имеет свои пункты поглощения автомобильных грузов в своем подмножестве из общей совокупности 48 промышленных зон и складов Санкт-Петербурга [7] (рис. 1). Из полного множества 336 связей (клеток матрицы корреспонденций) в примере только 217 связей были обеспечены значимой статистикой с общим объемом перевозок 58 млн т/год.

В целом решалась задача оценки эффективности автомобильных перевозок для двух стратегических вариантов: 1) перевозки осуществляются всеми автомобилями с реализацией маршрутов по минимуму расстояния и возможностью



Рис. 1. Грузовой каркас улично-дорожной сети (УДС), районы порта и промышленные зоны с геопривязанной матрицей корреспонденций «по воздуху» [8]: \diamond — условные порты, \odot — поглотители грузов

движения по городским магистралям грузового каркаса улично-дорожной сети (УДС) (рис. 2); 2) перевозки осуществляются всеми автомобилями с реализацией маршрутов по минимуму времени доставки с запретом движения по городским магистралям грузового каркаса УДС, кроме выезда на КАД и съезда с нее (рис. 3).

Имитационное моделирование в ArcGIS движения автомобилей по всем маршрутам дало обобщенную оценку результатов движения, представленную в таблице. Для обеспечения общего объема перевозок 58 млн т/год в случае преимущественного использования КАД потребуется на 123 автомобиля меньше, чем на маршрутах через город — 7,6 % экономии (подробности в работе [8]).

Пространственное развитие ГИС-модели автомобильных дорог продолжилось построением в ArcGIS Network Analyst грузового каркаса (опорной сети автодорог) ЛО (на рис. 4 жирными линиями отображен грузовой каркас на фоне всей дорожной сети, состоящей из 36 тыс. сегментов).

Обеспечена связность всей сети грузового каркаса. На рис. 5 приведено несколько маршрутов перевозки из портов Усть-Луги и Выборга.

Оцифровав слои автодорог (АД), железных дорог (ЖД), морских путей и терминально-складских объектов ЛО, в Network Analyst собрали их в мультимодальный сетевой набор (рис. 6). При этом обеспечена не только связность модальных сетей, но и возможность перевалки гру-



Рис. 2. Маршрут сквозного типа



Рис. 3. Маршрут объездного типа

Показатели движения ТС по совокупности 217 маршрутов

Схема движения	Средний пробег ездки, км	Суммарный пробег всех ТС, км	Среднее время ездки, мин	Суммарное время движения, мин	Средняя скорость движения, км/ч
Сквозная	57,8	12 542	66,3	14 384	52,3
Объездная	60,2	13 060	64,0	13 886	56,4



Рис. 4. Опорная сеть автодорог (АД)
(грузовой каркас АД) ЛО

зов между модальными сетями в мультимодальных перевозках.

Для моделирования международных перевозок в среде ArcGIS осуществлена интеграция с моделью мультимодальной транспортной сети ЕС по авторской методике [7]. На рис. 7 отображена перевозка по маршруту Любек — Новгород, сна-

чала морем до Усть-Луги, а затем автотранспортом.

Подключение в ГИС-модели к путям сообщения объектов портового, терминально-складского хозяйства, логистических и промышленных объектов потребовало создания в ArcGIS развитой базы геоданных (БГД). Здесь уместно раскрыть соответствующую технологию.

Имеется три вида моделей данных БГД по степени абстракции: концептуальная, логическая и физическая модели. В ArcGIS и сами три вида моделей, и технология их создания предельно формализованы [6]. Процесс создания концептуальной модели и перехода через логическую к физической модели осуществляется нами с привлечением универсального языка графического моделирования UML, языка XML и трех Диаграммеров Esri [6]. Развитие модели осуществляется по технологии IBM RUP с добавленным нами блоком БГД (рис. 8).

Пример представления верхнего уровня физической модели Усть-Лужского мультимодального комплекса (УЛ ММК) в каталоге ArcGIS дан

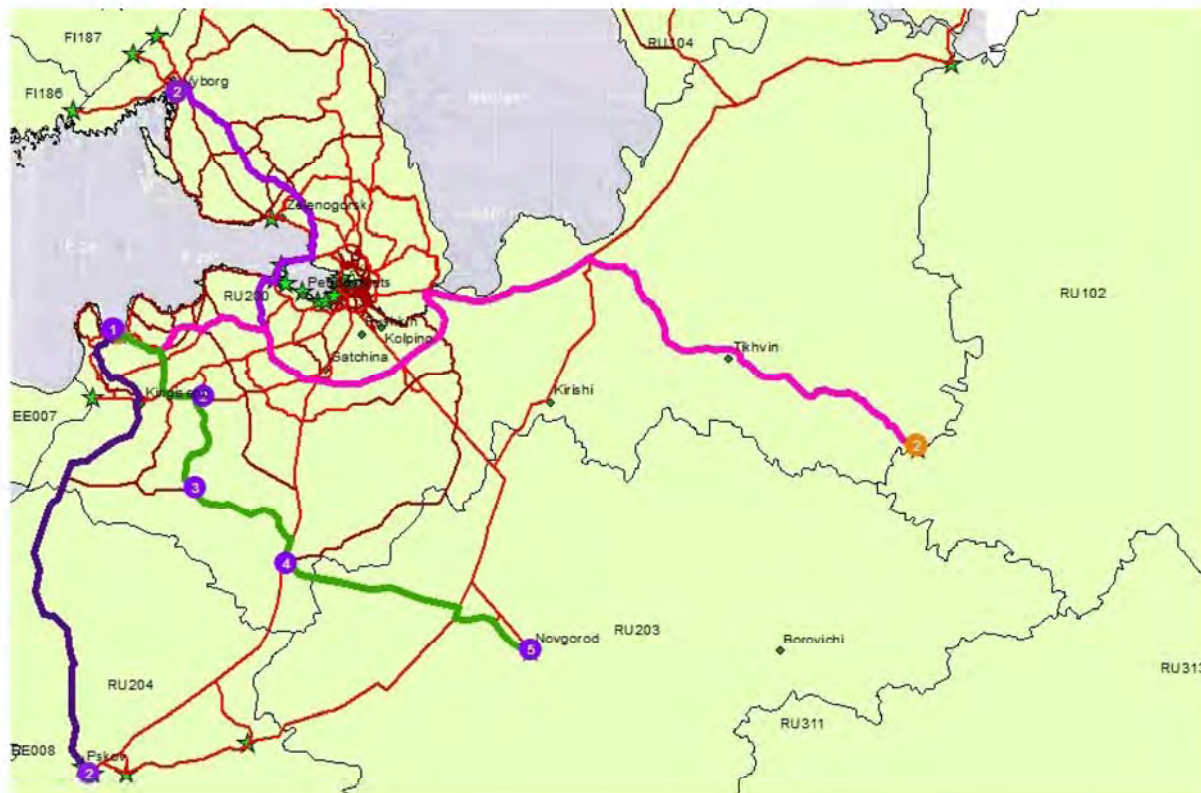


Рис. 5. Маршруты на грузовом каркасе ЛО



Рис. 6. Мультимодальная сеть автомобильных и железных дорог, морских путей и терминально-складских объектов ЛО



Рис. 7. Маршрут мультимодальной перевозки Любек — Новгород



Рис. 8. Рабочий процесс развития ГИС-модели

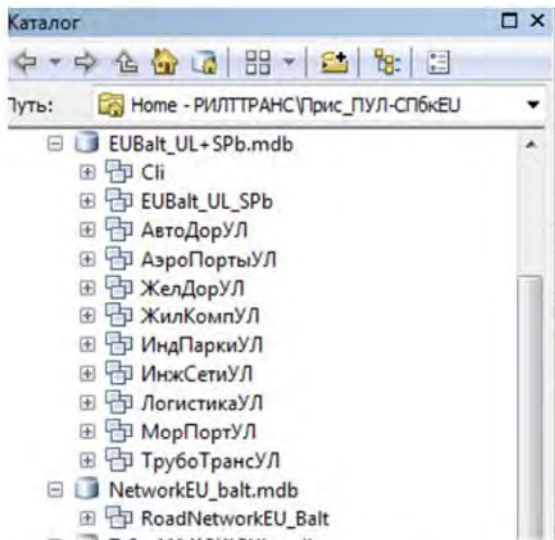


Рис. 9. Верхний уровень создаваемой базы данных УЛ ММК в ArcCatalog

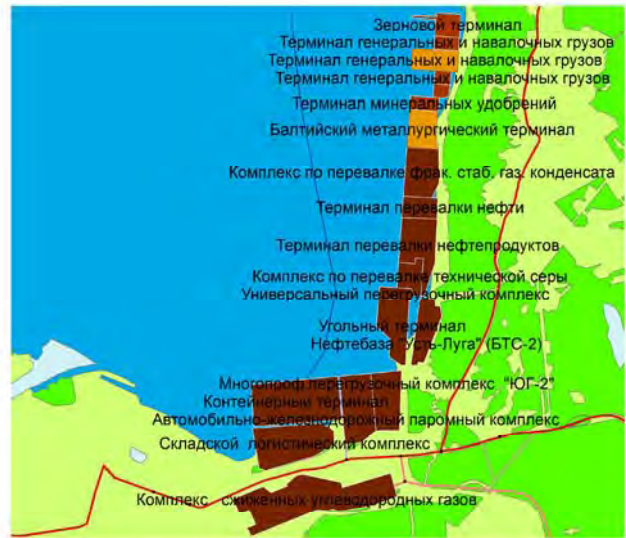


Рис. 10. Отображение слоев действующих терминалов, АД и ЖД Усть-Лужского морского порта в ArcMap

на рис. 9. Конфигурация этой модели охватывает портовые, терминально-складские, логистические и связанные промышленные структуры, и намечена нами для ГИС-моделирования совокупности портов ЛО.

На рис. 10 представлена карта ArcMap действующих и строящихся терминалов Усть-Лужского морского порта (УЛ МП), а также существующих АД и ЖД. Для формирования слоев картографической топоосновы использованы ресурсы производителя ArcGIS — фирмы Esri, а также Open Street Map, Google и Yandex. Оцифровка объектов фиксировалась в соответствующих классах БГД.

На рис. 11 отображена перспективная транспортно-логистическая инфраструктура УЛ ММК (без детализации многопутья ЖД станций), выстроенная в среде ArcGIS с использованием БГД по рис. 9. Перспективные сети, промышленные парки и аэропорты построены по доступным проектным данным развития УЛ ММК до 2025 г. В качестве примера моделирования мультимодальных перевозок на рис. 11 показан маршрут — морским контейнеровозом, затем перегрузка в контейнерном терминале Морского порта и далее автотранспортом.

Естественно, сформированная БГД и ГИС-модель на ее основе при решении конкретных транспортно-логистических задач будет требовать картографической детализации и атрибутивного



Рис. 11. Перспективная транспортно-логистическая инфраструктура УЛ ММК

наполнения, но и в такой конфигурации, на сленге программистов, она способна служить «кафетерием для приготовления разнообразных блюд».

В рамках дипломного проектирования студентами СПбГАСУ в 2016 г. на базе представ-



Рис. 12. Проект размещения сети терминалов УЛ МП:
1 — индустриальная зона «Сланцы»; 2 — индустриальный парк «Уткина Заводь»; 3 — технопарк «Дони-Верево»; 4 — индустриальная зона «Тосно»; 5 — индустриальная зона «КОЛА»; 6 — промпарк «Рябово»; 7 — промышленная зона «Таммисуо»; 8 — промышленная зона «Волховстрой I»; 9 — технопарк «Коленцево»; 10 — индустриальный парк Greenstate

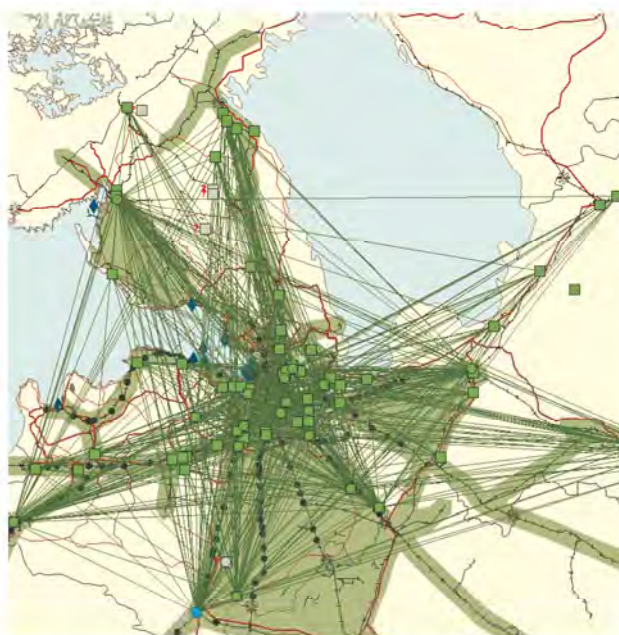


Рис. 13. Геопривязанная матрица корреспонденций ММПС ЛО

ленной ГИС-модели решено семь разных задач. Например, И. В. Кудрявцев с привлечением трех известных методов решал задачу размещения сети ближних и среднеотдаленных терминалов УЛ МП (в пределах ЛО — см. рис. 12). В технико-экономическом обосновании он использовал метод геопривязанных матриц корреспонденций, показанный выше (см. рис. 1 и 2). Для десяти терминалов УЛ МП, приведенных на рис. 12, был использован подграф матрицы корреспонденций ММПС ЛО, отображенной на рис. 13.

Студент А. В. Масимов моделировал перевозки в условные дальние сухие порты УЛ МП (перспектива их условно обосновывалась наличием зафиксированных перевозок из УЛ МП в соответствующие логистические центры страны — см. рис. 14).

Заключение

Несмотря на то что представленные проработки ГИС-модели мультипортовой мультимо-

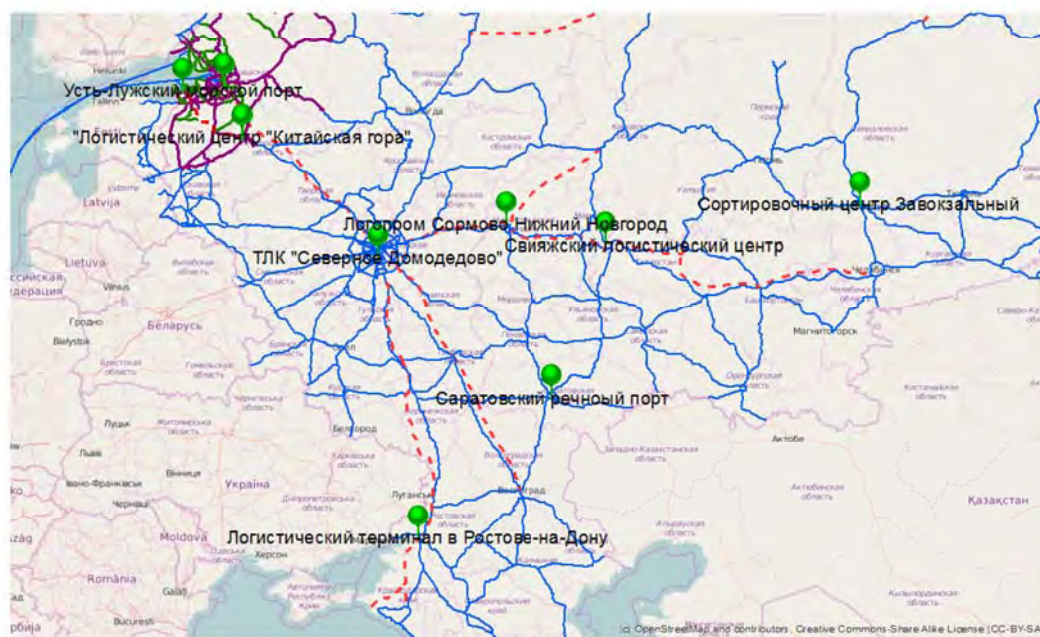


Рис. 14. Расположение логистических центров РФ, аффилированных с УЛ МП

дальней транспортно-логистической сети ЛО и примеры ее использования находятся на концептуальном уровне, нами показана реальная практическая перспектива этой модели. При этом эта ГИС-модель может стать интегрирующей основой для подключения других специальных моделей и программ логистической направленности в силу высокой интероперабельности [6] ГИС ArcGIS.

Библиографический список

1. Rodrigue J. P. The geography of transport systems. Hofstra University. Department of Global Studies & Geography. 2013. URL: <http://people.hofstra.edu/geotrans/> (дата обращения: 30.06.2016).
2. Notteboom T. The relationship between seaports and intermodal hinterland in light of global supply chain. 2008. URL: http://econpapers.repec.org/paper/oecitfaaa/2008_2f10-en.htm (дата обращения 30.06.2016).
3. Roso V., Woxenius J., Lumsden K. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland // Journal of Transport Geography. Volume 17. Issue 5. September 2009. Pages 338–345. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692308001245>.
4. Roso V. Dry port logistics 2015. URL: <http://www.slideshare.net/MehmetInanir/dry-port-logistics-2015>.
5. Галин А. В. Сухие порты как часть транспортной инфраструктуры. Направления развития // Вестник

ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. Вып. 2. С. 87–97. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/suhie-porty-kak-chast-transportnoy-infrastruktury-napravleniya-razvitiya/> (дата обращения: 30.06.2016).

6. ArcGIS for Desktop. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/> (дата обращения: 30.06.2016).

7. Kotikov Ju. Geographic information system modeling of freight transport and logistics in Saint Petersburg, Russia // Civil Engineering. Vol. 168. Issue 5. P. 31–38, OI: 10.1680/cien.14.00026 at <http://dx.doi.org/10.1680/cien.14.00026> Published online 07/02/2015 at <http://www.icevirtuallibrary.com/content/serial/cien>.

8. Kotikov Ju., Kravchenko P. Optimizing transport-logistic cluster freight flows of a port megacity on the basis of GIS // Applied Mechanics and Materials (Innovative Technologies in Development of Construction Industry). Vols. 725–726(2015). P. 1206–1211. Trans Tech Publications, Switzerland. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.1206.

References

1. Rodrigue J. P. *The geography of transport systems*. Hofstra University, Department of Global Studies & Geography, 2013. Available at: <http://people.hofstra.edu/geotrans/> (accessed: 30.06.2016).
2. Notteboom T. *The relationship between seaports and intermodal hinterland in light of global supply chain*. 2008. Available at: http://econpapers.repec.org/paper/oecitfaaa/2008_2f10-en.htm (accessed: 30.06.2016).

3. Roso V., Woxenius J., Lumsden K. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland. *Journal of Transport Geography*, vol. 17, iss. 5, September 2009, pp. 338–345. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692308001245>

4. Roso V. *Dry port logistics 2015*. Available at: <http://www.slideshare.net/MehmetInanir/dry-port-logistics-2015>.

5. Galin A. V. *Sukhie porty kak chast' transportnoy infrastruktury. Napravleniya razvitiya* [Dry ports as part of transport infrastructure. Directions of development]. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/suhie-porty-kak-chast-transportnoy-infrastruktury-napravleniya-razvitiya/> (accessed: 30.06.2016).

6. ArcGIS for Desktop. Available at: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/> (accessed: 30.06.2016).

7. Kotikov Ju. Geographic information system modeling of freight transport and logistics in Saint-Petersburg, Russia. *Civil Engineering*, vol. 168, iss. 5, pp. 31–38, OI: 10.1680/cien.14.00026 at <http://dx.doi.org/10.1680/cien.14.00026>. Published online 07.02.2015 Available at: <http://www.icevirtuallibrary.com/content/serial/cien>

8. Kotikov Ju., Kravchenko P. Optimizing transport-logistic cluster freight flows of a port megacity on the basis of GIS. *Applied Mechanics and Materials (Innovative Technologies in Development of Construction Industry)*, vol. 725–726(2015), pp. 1206–1211. Trans Tech Publ, Switzerland. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.1206.